

Evaluating the Performance of a Threshing Machine for Purslane in Laboratory Scale

HAMIDREZA KHALIFEH¹, MAJID RAHNAMA^{*2}, NAVAB KAZEMI² AND RASOUL MEMAR DASTJERDI²

1. Graduated student, Department of Agricultural machinery and mechanization- Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan, Iran

2. Faculty member, Department of Agricultural machinery and mechanization, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan, Iran

(Received: May. 26, 2020- Revised: Nov. 11, 2020- Accepted: Dec. 14, 2020)

ABSTRACT

Purslane is an important vegetable and medicinal plant that is produced and consumed in the southern regions of Iran. Recently, special attention for processing and pharmaceutical industries of purslane has been paid. Seed separation procedure, is one of the most important and difficult steps in purslane processing. In this Research, a seed threshing unit for mechanization of purslane seed harvesting, was built, evaluated and tested. The most important components of this thresher are the shaft, the rubber thresher and the rubber concave. This machine was designed and manufactured and then the losses were determined. The losses evaluation was carried out under randomized factorial analysis. Experiments were conducted at three levels of drum speed (35, 80 and 120 rpm), feed rate (2, 3 and 5 kgmin⁻¹) and sieve swing speed (180, 200, 220 rpm). The results showed that the impact of drum rotational speed, oscillation of sieve and feed rate on seed separation percentage and unopened sheath is significant at 1% level. The lowest amounts of losses (9.39%) were obtained at 80 rpm drum rotational speed and 2 kgmin⁻¹ feed rate and also 200 rpm sieves swing speed, respectively. Highest percentage of losses (27.83%) was obtained at 120 rpm drum rotational speed, 5 kgmin⁻¹ feed rate and 220 sieves swing speed, respectively. Threshing efficiency at lowest level of machine losses, was 92%. Maximum output capacity (at lowest level of losses) and energy consumption were obtained 2.7kg^h⁻¹ and 14084 KJ, respectively.

Key words: Medicinal plant, purslane, losses, rubber thresher.

ارزیابی عملکرد ماشین خرمن کوب خرفه در مقیاس آزمایشگاهی

حمیدرضا خلیفه^۱، مجید رهنما^{۱*}، نواب کاظمی^۱، رسول معمار دستجردی^۱

۱. ماشین‌های کشاورزی و مکانیزاسیون، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، اهواز، ایران

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۳/۶ - تاریخ بازنگری: ۱۳۹۹/۸/۲۱ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۹/۹/۲۴)

چکیده

خرفه یک سبزی و گیاه دارویی مهم است که در مناطق جنوبی کشور تولید و مصرف می‌شود. اخیراً نیز در صنایع تبدیلی و دارویی به آن توجه خاصی می‌شود. در فرآوری این محصول، عملیات جداسازی دانه‌ی خرفه یکی از مراحل مهم و مشکل به شمار می‌رود. در این پژوهش یک ماشین جداکننده‌ی دانه‌ی خرفه در راستای مکانیزه کردن برداشت این محصول ساخته ارزیابی و آزمایش شد. مهمترین اجزای این ماشین شاسی، موتور، واحد کوبنده لاستیکی، تسمه نقاله حمل محصول و واحد تمیز کننده می‌باشد. پس از طراحی و ساخت دستگاه شاخص تلفات مورد بررسی قرار گرفت. این شاخص به صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی مورد بررسی قرار گرفت. آزمایش مذکور اثر فاکتورهای سرعت دورانی کوبنده در سه سطح ۳۵، ۸۰ و ۱۲۰ (rpm)، سرعت نوسان الک در سه سطح ۱۸۰، ۲۰۰ و ۲۲۰ (rpm) و نرخ تغذیه در سه سطح ۲، ۳ و ۵ (kg/min) بر درصد تلفات کل را تعیین می‌کند. نتایج نشان داد اثر هر سه عامل سرعت دورانی کوبنده، نوسان الک و نرخ تغذیه بر درصد تلفات دانه و غلاف‌ها در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود. کمترین میزان تلفات در سرعت دورانی ۸۰ (rpm) کوبنده، سرعت نوسان الک ۲۰۰ (rpm) با نرخ تغذیه ۲ (kg/min) برابر ۹/۳۹ درصد و بیشترین آن در سرعت دورانی ۱۲۰ (rpm)، سرعت نوسان الک ۲۲۰ (rpm) و نرخ تغذیه ۵ (kg/min)، با ۲۷/۸ درصد مشاهده شد. بازدهی کوبنده در کمترین سطح از تلفات ماشین ۹۲ درصد محاسبه شد. بیشترین ظرفیت خروجی ماشین در کمترین سطح از تلفات ۲/۷ کیلوگرم بر ساعت بدست آمد و در این سطح از ظرفیت خروجی، انرژی مصرفی ویژه ماشین برابر ۱۴۰۸ (KJ/kg) اندازه‌گیری شد.

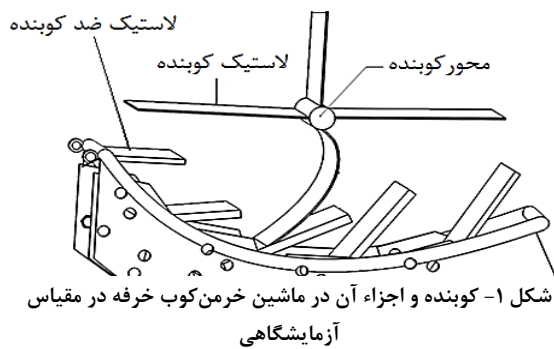
واژه‌های کلیدی: گیاه دارویی، خرفه، تلفات، کوبنده لاستیکی

مقدمه

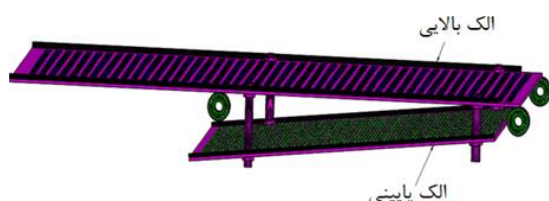
زدن به قسمت‌های فوقانی گیاه، دانه را از ساقه گیاه جدا نموده و برای تمیز کردن از الک در سه مرحله استفاده می‌نماید. در این میان عمل کوبیدن و جداسازی محصول با دست، کاری طاقت فرسا و بسیار وقت‌گیر بوده و نیازمند صرف نیروی کارگری زیاد نیز می‌باشد. هم‌چنین از لحاظ ارگونومیکی و پزشکی باعث بروز مشکلات جسمی برای کارگران مانند خستگی و احساس درد در ناحیه مچ دست و آرنج می‌شود. با توجه به مباحث گفته شده و مشکلات و معایبی که در برداشت مکانیزه خرفه وجود دارد و همچنین مشکلات و محدودیت‌هایی که در روش‌های سنتی مانند زمان‌بر بودن و بالا بودن هزینه‌های کارگری، در این پژوهش سعی بر آن شد با طراحی، ساخت و آزمایش یک واحد جدا کننده دانه خرفه از تلفات محصول کاسته، مدت زمان جداسازی را کاهش داده و هزینه کارگری و مشکلات و معایب جدا سازی دانه خرفه را به حداقل ممکن رساند تا جایگزینی مناسبی برای روش‌های سنتی باشد. سعیدی راد و همکاران با ساخت دستگاه خرمنکوبی گیاه زیره‌ی سبز بوسیله‌ی خرمنکوب لاستیکی، گزارش کردند که این نوع خرمنکوب

خرفه با نام لاتین (Purslane) و نام علمی (*Portulaca oleracea*) گیاهی چهار کرنبه و یکساله از خانواده (Portulacaceae) می‌باشد. این گیاه علفی، ساقه‌ای گوشتی، برگ‌های ضخیم متقابل، گل‌های زرد یا سفید و بذره‌های سیاه ریز دارد. خرفه به عنوان یک گیاه دارویی در مناطق جنوبی کشور به عنوان یک سبزی مهم مورد کشت و مصرف قرار می‌گیرد و اخیراً توجه زیادی به صنایع تبدیلی و دارویی آن شده است. حدود ۹۵ درصد دانه خرفه کشور ایران در استان فارس و ۵ درصد در سایر نقاط کشور از جمله کرمان و یزد تولید می‌شود. سطح زیر کشت این محصول در استان فارس در سال زراعی ۹۴ حدود ۷۰۰ هکتار با متوسط عملکرد ۱۵۰۰ کیلوگرم در هکتار گزارش شده است که در اواسط خردادماه کشت و برداشت آن از اوایل شهریور ماه شروع و تا اواخر مهرماه ادامه دارد (بی‌نام، ۱۳۹۴). برداشت خرفه به دلیل ساقه‌های گوشتی و آبدار بودن ساقه در زمان رسیدن محصول و ریز بودن بیش از حد دانه کاملاً به صورت دستی می‌باشد. به این صورت که ابتدا کارگر اقدام به بریدن محصول کرده و سپس توسط چوب دستی با ضربه

باشد (Khalifeh et al., 2019)، که ضمن جدا نمودن حداکثر دانه‌ها از ساقه و غلاف، کمترین میزان آسیب به ساقه و تلفات را داشته باشد. برای طراحی و ساخت کوبنده ۴ عدد لاستیک به طول ۲۰ سانتیمتر، عرض ۴۸ سانتیمتر (با توجه به بیشترین ارتفاع محصول) و ضخامت ۲ میلی‌متر از جنس منجید (دارای ۲ لایه نخ) در نظر گرفته شد. مزیت لاستیک‌های مورد نظر، انعطاف پذیری و دوام بسیار مناسب آنها می‌باشد. ضدکوبنده نیز از ۵ عدد لاستیک به طول ۲۰ سانتیمتر، عرض ۵۰ سانتیمتر، ضخامت ۲۰ میلی‌متر و از جنس منجید (دارای ۶ لایه نخ) می‌باشد که بر روی یک شاسی انحناءدار به صورت یک مجموعه زیر کوبنده قرار گرفته است. آرایش لاستیک‌ها در ضدکوبنده به صورت پلکانی می‌باشد. محور کوبنده با حرکت دورانی خود باعث برخورد لاستیک‌های کوبنده با لاستیک‌های ضدکوبنده می‌گردد که نتیجه این عمل ابتدا ضربه و سپس حمل محصول به طرف عقب کوبنده و در نهایت خروج محصول از کوبنده است (شکل ۲).



در طراحی و ساخت الک باید توجه کرد که عملکرد الک تحت تاثیر عواملی همچون طول الک، شیب و اندازه سوراخ‌های آن می‌باشد. هر چه طول الک‌ها بیشتر باشد دانه‌ها فرصت بیشتری برای جدا شدن از محصول دارند (Khazaei, 2003) اما محدودیت ابعاد دستگاه مانع از افزایش دادن طول الک‌ها می‌شود. با آزمون و خطا طول الک بالایی ۱۶۰ سانتی‌متر و طول الک پایینی ۱۲۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شد (شکل ۳). قطر سوراخ الک‌ها و شیب غربال‌ها بر اساس اندازه هندسی دانه‌ها و ضریب اصطکاک استاتیکی دانه خرفه (Khalifeh et al., 2019) به ترتیب مقدار ۹ میلی‌متر و ۱۹ درجه تعیین شد.

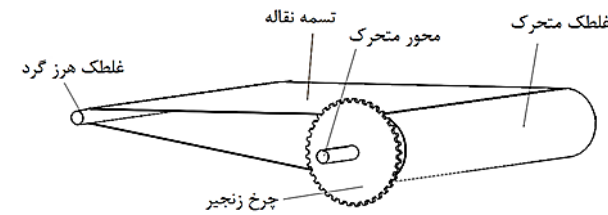


شکل ۳- الک‌ها و محل قرارگیری آن‌ها در ماشین خرم کوب خرفه در مقیاس آزمایشگاهی

عملکرد مناسبی برای این گیاه حساس به ضربه دارد. در این تحقیق نیز از خرمکوب لاستیکی برای جداسازی گیاه خرفه از ساقه‌ی این گیاه انتخاب گردید.

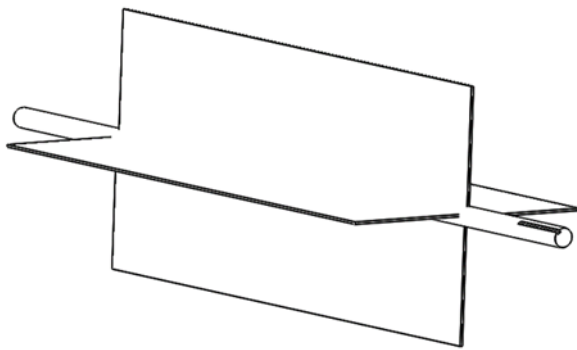
مواد و روش‌ها

مهم‌ترین اجزاء ماشین خرم کوب خرفه، موتور، نوار نقاله، کوبنده، الک و پنکه می‌باشد. اجزای اصلی سیستم نوار نقاله یا تسمه نقاله شامل نوار یا تسمه و غلطک‌های متحرک و هرزگرد که در دو انتهای نوار قرار گرفته‌اند، می‌باشد. غلطک متحرک با حرکت دورانی باعث حرکت نوار نقاله و در نتیجه انتقال مواد در طول مسیر می‌شود. غلطک هرزگرد نیز در حقیقت یک مکمل برای غلطک متحرک بوده که در طرف دیگر مسیر می‌باشد. برای درگیری بهتر غلطک متحرک با نوار، غلطک متحرک با قطر ۷۰ میلی‌متر و غلطک هرز گرد با قطر ۳۰ میلی‌متر انتخاب شد. جنس نوار نقاله از برزنت با ضخامت ۲ میلی‌متر انتخاب شد که استحکام و دوام بالایی داشته و در برابر سایش بسیار مقاوم بود (شکل ۱).



شکل ۱- اجزاء تسمه نقاله ماشین خرم کوب خرفه در مقیاس آزمایشگاهی

برای ساخت واحد کوبش به دلیل عدم وجود پژوهش قبلی در زمینه جداسازی دانه خرفه، با بررسی دستگاه‌های ساخته شده برای محصولات مشابه، مشاهده شد که استفاده از لبه‌های کوتاه لاستیکی بر روی نبشی کوبنده و ضد کوبنده باعث می‌شود محصول به آرامی کوبیده شود (Saedirad et al., 2009). همچنین با توجه به این که در جداسازی دانه خرفه به روش سنتی کارگر با استفاده از یک چوب دستی به پهنای ۳۰ سانتی‌متر و طول ۵۰ سانتی‌متر معمولاً ۵ الی ۶ بار به قسمت فوقانی گیاه ضربه می‌زند و عمل جداسازی دانه را انجام می‌دهد. لذا روش ضربه زدن به محصول توسط لاستیک به عنوان روشی مناسب برای جداسازی دانه خرفه انتخاب گردید. از مزایای این طرح کوبنده، نسبت به سایر روش‌های کوبش، می‌توان به نیروی کمتر وارده شده به محصول و در دسترس بودن قطعات یدکی آن اشاره کرد. با توجه به خصوصیات فیزیکی و مکانیکی دانه و ساقه گیاه خرفه، سعی بر آن شد سیستمی برای کوبش طراحی شود که نیروی وارده بر ساقه کمتر از حداقل نیروی لهدگی ساقه (۵۵ نیوتن) و بیشتر از حداکثر نیروی مورد نیاز برای شکست غلاف (۴/۹ نیوتن)



شکل ۲- پنکه طراحی شده برای جداکننده دانه خرفه در ماشین خرمن کوب خرفه در مقیاس آزمایشگاهی

توان لازم برای راه اندازی اجزای دستگاه توسط موتور بنزینی ۱۰ اسب بخار با مشخصات جدول (۱) تامین گردید. برای انتقال قدرت و تامین سرعت موتور از سیستم چرخ زنجیر استفاده شد. برای تعیین صحت دور موتور از دورسنج دیجیتال (DT-2236C ساخت کشور چین) با دقت $\pm 0.5\%$ درصد استفاده شد. شکل ۵ دستگاه ساخته شده را نشان می دهد.

جدول ۱. مشخصات موتور

نوع انجین	حداکثر گشتاور (N)	حداکثر توان (hp)	جعبه دنده	دور سنج
تک سیلندر	۹/۲۳ در ۷۰۰۰ (rpm)	۱۰ در ۸۵۰ (rpm)	۴ دنده	آنالوگ عقربه‌ای



شکل ۳- نمای کلی و اجزاء دستگاه خرمن کوب خرفه ساخته شده

روش اجرای آزمون‌ها

ابتدا نمونه‌های خرفه که از نظر کشاورزان رسیده و آماده برداشت بودند (رنگ ساقه ارغوانی شده و اکثریت غلاف‌ها کاملاً خشک باشد) به صورت تصادفی از مزارع خرفه در شهرستان مرودشت (استان فارس) انتخاب و برداشت شدند. بعد از عملیات برداشت، ساقه‌های برداشت شده درون کیسه‌های پلاستیکی مخصوص قرار داده شدند و پس از انتقال به آزمایشگاه درون یخچال در دمای ۴

در این دستگاه، از پنکه به منظور جدا کردن دانه خرفه از مواد دیگر (پوسته غلاف‌های باز شده) استفاده شد (شکل ۴). پنکه درون محفظه‌ای قرار می‌گیرد که در بالای آن سینی دانه واقع شده است. یکی از پارامترهای مهم طراحی این واحد، سرعت حد می‌باشد. سرعت حد دانه خرفه $2/36$ (m/s) می‌باشد (Khalifeh et al., 2019). از آنجا که برای پاک کردن دانه سرعت جریان هوا باید کمتر از سرعت حد آن دانه باشد در نتیجه سرعت جریان هوا برای پاک کردن دانه خرفه 2 (m/s) اختیار شد. توان مورد نیاز پنکه از رابطه (۱) محاسبه شد (Nadew, 2015).

$$P_C = P_h + P_{I\alpha} \quad (\text{رابطه ۱})$$

که در این رابطه P_C کل توان مورد نیاز پنکه (مقدار $40.5/15$ w)، P_h توان فشاری کل مورد نیاز پنکه (مقدار $24.0/8.0$ w)، $P_{I\alpha}$ توان ممان اینرسی (مقدار $20.9/3.5$ w) (توان لازم برای غلبه بر ممان اینرسی) می‌باشد. توان فشاری کل مورد نیاز پنکه از رابطه (۲) بدست آمد.

$$P_h = Q \times H \quad (\text{رابطه ۲})$$

$$p = \rho g H \quad (\text{رابطه ۳})$$

$$h_d = \rho \frac{V^2}{2} \quad (\text{رابطه ۴})$$

$$h_s = \frac{(1-k^2)h_d}{k^2} \quad (\text{رابطه ۵})$$

$$k = \frac{A_{in}}{A_{out}} \quad (\text{رابطه ۶})$$

$$H = h_s + h_d \quad (\text{رابطه ۷})$$

$$Q = A_{out} \times V \quad (\text{رابطه ۸})$$

که در این روابط h_d هد فشار دینامیکی ($2/9.5$ m)، h_s هد فشار استاتیکی بر حسب A_{in} ($86/34$ m²) مساحت ورودی (0.1 m²)، A_{out} مساحت خروجی (0.55 m²)، K ضریب بدون بعد، ρ چگالی هوا (kg/m^3)، H هد فشار کل ($89/29$ m)، V سرعت حد دانه خرفه ($2/36$ m/s)، Q دبی حجمی هوا (0.12 m³/s)، p فشار کل (pa)، P_h توان مورد نیاز پنکه (w) می‌باشد. توان ممان اینرسی اجزاء پنکه از رابطه (۹) محاسبه گردید.

$$P_{I\alpha} = T_\alpha \times \omega \quad (\text{رابطه ۹})$$

$$T_\alpha = I_{ZZ} \times \alpha \quad (\text{رابطه ۱۰})$$

$$I_{ZZ} = \frac{1}{12} m(a^2 + b^2) \quad (\text{رابطه ۱۱})$$

$$\alpha = \frac{\omega - 0}{3.49} \quad (\text{رابطه ۱۲})$$

که در این رابطه T_α گشتاور ممان اینرسی (2 N.m)، ω سرعت زاویه‌ای ($104/66$ rad/s)، I_{ZZ} ممان اینرسی جرمی اجزاء پنکه (0.66 N.m.s²) و α شتاب زاویه‌ای محور ($29/99$ rad/s²)، a^2 و b^2 به ترتیب عرض و ضخامت پره‌های پنکه (0.1 و 0.02 m) می‌باشد (شکل ۴).

غلاف‌های باقی مانده روی ساقه و مجموع آنها (تلفات کل واحد کوبنده) می‌باشد. همچنین تلفات ایجاد شده توسط الک‌ها نیز شامل تلفات دانه، تلفات غلاف‌های باز نشده و مجموع آنها است. بنابراین جهت بررسی بهتر و دقیق‌تر آزمایشات به دو دسته مجزا تقسیم گردید. در سری آزمایشات اول، تاثیر سرعت دورانی کوبنده در سه سطح ۳۵، ۸۰ و ۱۲۰ (rpm)، و نرخ تغذیه در سه سطح ۲، ۳ و ۵ (kg/min) (Saeedirad et al., 2009) بر تلفات مربوط به واحد کوبنده و در سری آزمایشات دوم بعد از تعیین بهترین سرعت دورانی کوبنده تاثیرات سرعت الک در سه سطح ۲/۱، ۲/۳ و ۲/۶ هر تزی (Arfia, 2006) و نرخ تغذیه در سه سطح ۲، ۳ و ۵ (kg/min) بر تلفات مختص الک‌ها بررسی گردید. همچنین بازدهی واحد کوبنده (رابطه ۱۳ و ۱۴) و ظرفیت خروجی ماشین از رابطه (۱۵) محاسبه گردید (Smith et al., 2006). تجزیه و تحلیل داده‌ها در قالب آزمایش فاکتوریل با طرح پایه کاملاً تصادفی با استفاده از نرم افزار SPSS۱۶، در سه تکرار صورت پذیرفت. مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد بررسی شد. ترسیم نمودارها نیز توسط نرم افزار Excel ۲۰۱۳ انجام شد.

$$H = 100 - N \quad (\text{رابطه ۱۳})$$

$$N = \frac{I}{A} \times 100 \quad (\text{رابطه ۱۴})$$

$$W = \frac{B}{T} \times 60 \quad (\text{رابطه ۱۵})$$

که در این رابطه H درصد بازدهی کوبیدن، N درصد غلاف‌های کوبیده نشده، J وزن غلاف‌های کوبیدن نشده از تمام خروجی (kg/min)، A وزن کل غلاف‌های ورودی (kg/min)، W ظرفیت خروجی ماشین (kg/h)، B وزن دانه‌های خارج شده از خروجی اصلی (kg) و T مدت زمان آزمایش (min) می‌باشد.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها در جدول (۲) نشان می‌دهد که اثر سرعت دورانی کوبنده بر تلفات دانه‌های چسبیده به ساقه، غلاف‌های باقی مانده روی ساقه و تلفات کل در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار می‌باشد. اثر نرخ تغذیه و اثر متقابل سرعت دورانی کوبنده و نرخ تغذیه بر دانه‌های چسبیده به ساقه غیر معنی‌دار و بر غلاف‌های باقی مانده روی ساقه و تلفات کل در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود.

تاثیر سرعت دورانی کوبنده بر دانه‌های چسبیده به ساقه

نمودار اثر سرعت کوبنده بر دانه‌های چسبیده به ساقه در شکل (۷) نشان داده شده است. مطابق این نمودار در سرعت دورانی ۳۵ و ۸۰ (rpm) تلفات دانه‌های چسبیده به ساقه مشاهده نشد. با

درجه سلسیوس قرار گرفت تا شرایط رطوبتی محصول حفظ گردد و تغییر چندان در رطوبت اولیه آن ایجاد نشود. به منظور اندازه‌گیری رطوبت ساقه و غلاف، در این آزمون ده نمونه از ساقه و غلاف هر کدام به صورت جداگانه به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۷۰ درجه سلسیوس داخل آون قرار داده شد (Ghorbani et al., 2013). بعد از طی مدت زمان تعیین شده نمونه‌ها دوباره توسط ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۰۱ گرم وزن شد و میزان رطوبت ساقه با استفاده از روش استاندارد وزنی (S۳۵۲/۳) بر پایه وزن تر و میزان رطوبت غلاف محاسبه گردید (Anonymous, 1994).

در راستای آزمایش عملکرد ماشین خرمن کوب خرفه و تعیین میزان تلفات کوبنده، با توجه به آزمایشات اولیه ماشین، مشخص شد تلفات کوبنده به دلیل له شدن ساقه، در سرعت بالای کوبنده اتفاق می‌افتد؛ به این صورت که به محض له شدن ساقه، دانه‌های بسیار ریز به ساقه‌های له شده چسبیده و عملاً اندازه‌گیری تلفات دانه‌های چسبیده به ساقه در قسمت خروجی دستگاه امکان پذیر نبود (شکل ۶).



شکل ۴- دانه‌های خرفه چسبیده به ساقه در ماشین خرمن کوب خرفه در مقیاس آزمایشگاهی

برای حل این مشکل با دانستن وزن دانه‌های وارد شده به دستگاه می‌توان میزان تلفات واحد کوبنده (دانه‌های چسبیده به ساقه) را بدست آورد. به این منظور ابتدا کرتی از مزرعه را که از نظر کشاورزان زمان برداشت و ظاهراً عملکردی یکنواخت داشت انتخاب و سپس ۱۰ نمونه ۲ کیلوگرمی محصول از ۱۰ نقطه کرت به صورت تصادفی برداشت شد و سپس به منظور اندازه‌گیری میانگین مقدار دانه‌های موجود در نمونه‌ها، دانه‌های محصول با دقت توسط دست جدا سازی شده و به صورت جداگانه توسط ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۰۱ گرم وزن شد. بدین ترتیب میانگین وزن دانه‌های موجود در نمونه‌های تحت آزمایش مشخص شد. با انجام پیش آزمایشات مشخص گردید که تلفات ایجاد شده توسط کوبنده شامل دانه‌های چسبیده به ساقه، درصد

به ساقه به نیروی لهیدگی (Khalifeh *et al.*, 2019) نزدیک شده و باعث لهیدگی ساقه در محفظه کوبنده و در نتیجه چسبیدن دانه‌های جدا شده به ساقه‌های له شده می‌شود لذا تلفات کوبنده افزایش یافته است.

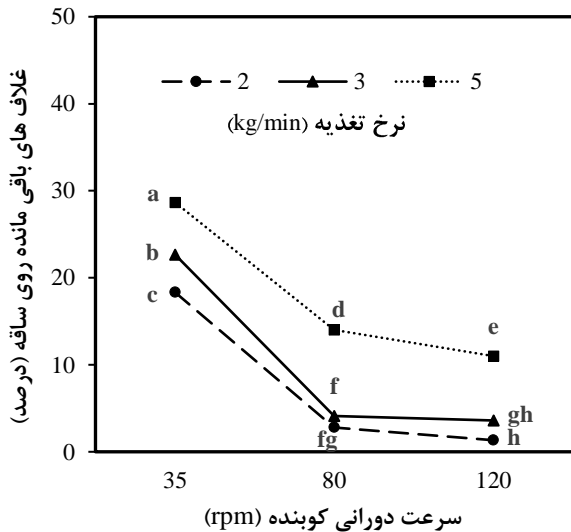
افزایش سرعت دورانی کوبنده از ۸۰ به ۱۲۰ (rpm) شیب نمودار تلفات بیشتر می‌شود که نشان دهنده‌ی افزایش میزان تلفات دانه‌های چسبیده به ساقه به مقدار ۲۱/۴۴ درصد است. دلیل این امر این است که با افزایش سرعت دورانی کوبنده نیروی وارد شده

جدول ۲. تجزیه واریانس تاثیر تیمارهای آزمایش بر تلفات کوبنده

میانگین مربعات صفات مورد مطالعه			درجه آزادی	منابع تغییرات
تلفات کل (درصد)	غلاف‌های باقی مانده روی ساقه (درصد)	دانه‌های چسبیده به ساقه (درصد)		
۹۳۲/۱۳**	۱۰۳۲/۴۰۸**	۱۳۶۵/۴۴**	۲	سرعت دورانی کوبنده (rpm)
۱۷۲/۵۱**	۱۵۶/۸۵**	۰/۵۸ ^{ns}	۲	نرخ تغذیه (kg/min)
۹/۴۰**	۱۲/۴۶**	۰/۴۴ ^{ns}	۴	سرعت دورانی کوبنده × نرخ تغذیه
۰/۶۰	۰/۳۰	۰/۲۱	۱۸	خطای آزمایشی
۱/۹۴	۶/۳۸	۵/۲۴		ضریب تغییرات (درصد)

ns, * و ** به ترتیب بیانگر عدم معنی دار و معنی داری در سطح ۵ و ۱ درصد می‌باشند.

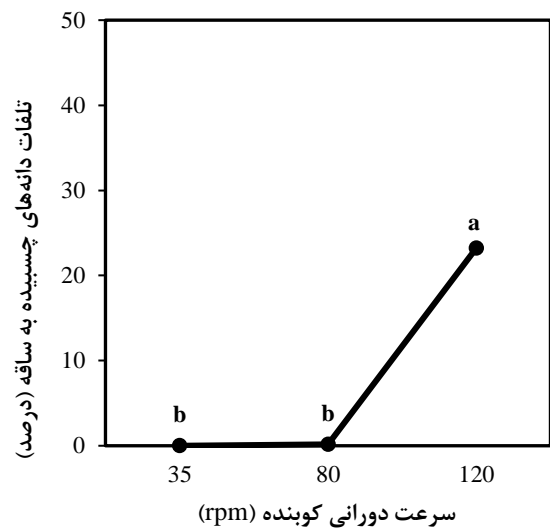
خرمنکوب زیاد شده و غلاف‌ها زیرین نیروی مورد نیاز برای جدا شدن از ساقه را دریافت نمی‌کنند در نتیجه تلفات غلاف‌های باقی مانده افزایش می‌یابد.



شکل ۸- نمودار اثر متقابل سرعت دورانی کوبنده و نرخ تغذیه بر تلفات غلاف‌های باقی مانده روی ساقه‌ها
حروف غیر مشابه در نمودار نشان دهنده تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال ۵٪ است.

اثر متقابل سرعت دورانی کوبنده و نرخ تغذیه بر تلفات کل کوبنده

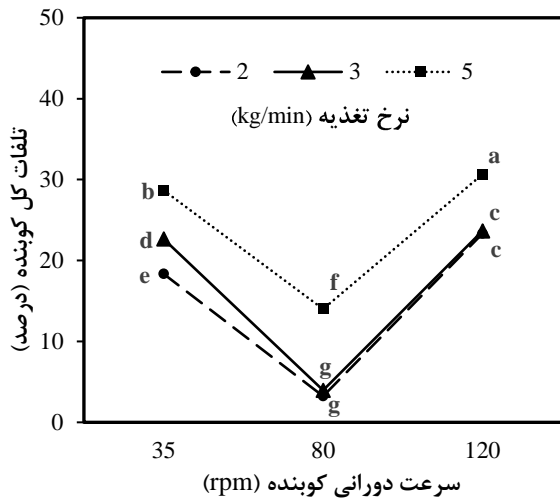
نمودار اثر نرخ تغذیه بر تلفات کل کوبنده در شکل (۹) نشان داده شده است. با توجه به این نمودار با افزایش سرعت دورانی کوبنده تلفات کل کوبنده ابتدا کاهش و سپس افزایش می‌یابد. بیشترین تلفات کوبنده ۳۰ درصد در سرعت دورانی ۱۲۰ (rpm) با نرخ تغذیه ۵ (kg/min) و کمترین آن ۳/۷۳ درصد در سرعت دورانی ۸۰ (rpm) با نرخ تغذیه ۲ (kg/min) رخ داده است که حاکی از



شکل ۵- نمودار تلفات دانه‌های چسبیده به ساقه در سطوح مختلف سرعت دورانی کوبنده
حروف غیر مشابه در نمودار نشان دهنده تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال ۵٪ است.

اثر متقابل سرعت دورانی کوبنده و نرخ تغذیه بر درصد غلاف‌های باقی مانده روی ساقه

اثر متقابل سرعت دورانی کوبنده و نرخ تغذیه بر درصد غلاف‌های باقی مانده روی ساقه در شکل (۸) نشان داده شده است. مطابق شکل با افزایش سرعت دورانی کوبنده درصد تلفات غلاف‌های باقی مانده روی ساقه به‌طور معنی‌دار کاهش یافته است با افزایش سرعت دورانی نیروی وارد شده به محصول زیاد شده و غلاف‌های بیشتری از ساقه جدا می‌شوند. همچنین مشاهده شد در تمام سطوح سرعت دورانی کوبنده با افزایش نرخ تغذیه به ۵ کیلوگرم درصد غلاف‌های باقی مانده روی ساقه افزایش می‌یابد با افزایش نرخ تغذیه، ضخامت لایه محصول ایجاد شده در محفظه



شکل ۹- نمودار اثرات متقابل سرعت دورانی کوبنده و نرخ تغذیه کوبنده بر تلفات کل کوبنده حروف غیر مشابه در نمودار نشان دهنده تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال ۵٪ است.

نتایج تلفات الک

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها در جدول (۳) نشان می‌دهد که اثر سرعت نوسان الک و نرخ تغذیه بر روی تلفات دانه، تلفات غلاف‌های باز نشده و تلفات کل در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار است و اثر متقابل این دو عامل روی تلفات دانه در سطح احتمال ۵ درصد و روی تلفات غلاف‌های باز نشده و تلفات کل در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار می‌باشند.

آن است که در سرعت دورانی ۱۲۰ (rpm) با توجه به بالا بودن سرعت دورانی کوبنده، در این سطح از سرعت با افزایش نرخ تغذیه به ۵ کیلوگرم در دقیقه از یک طرف له شدگی ساقه در اثر نیروی وارد شده و از طرفی دیگر جدا نشدن غلاف‌ها از ساقه در لایه‌های زیرین باعث افزایش چشم‌گیر تلفات کوبنده شده است. بین نرخ تغذیه‌های ۲ و ۳ (kg/min) در این سطح سرعت دورانی کوبنده اختلاف معناداری وجود ندارد که دلیل آن را می‌توان به تامین شدن نیروی مورد نیاز برای جداسدن غلاف در نرخ تغذیه ۳ (kg/min) دانست. در سرعت دورانی ۸۰ (rpm) با افزایش نرخ تغذیه به ۵ (kg/min) تلفات کوبنده به طور معنادار افزایش یافته است. دلیل این موضوع را این‌طور می‌توان گفت که با افزایش نرخ تغذیه به ۵ کیلوگرم نیروی لازم برای جدا شدن غلاف، در لایه‌های زیرین محصول تامین نمی‌شود در نتیجه بخش مربوط به غلاف‌های باقی مانده بر روی ساقه افزایش می‌یابد و بین نرخ تغذیه‌های ۲ و ۳ (kg/min) در این سطح سرعت دورانی کوبنده اختلاف معناداری وجود ندارد که دلیل آن را می‌توان به تامین شدن نیروی مورد نیاز برای جداسدن غلاف در نرخ تغذیه ۳ (kg/min) دانست. در سرعت دورانی ۳۵ (rpm) مشاهده می‌شود تلفات کوبنده با افزایش نرخ تغذیه به‌طور معنادار افزایش یافته است در این سطح از سرعت دورانی کوبنده با توجه به پایین بودن سرعت، نیروی وارد شده به محصول کم بوده و تاثیر افزایش نرخ تغذیه بر غلاف‌های باقی مانده روی ساقه بیشتر می‌باشد. لذا با افزایش نرخ تغذیه در این سطح از سرعت دورانی کوبنده غلاف‌های باقی مانده روی ساقه افزایش می‌یابد.

جدول ۳. تجزیه واریانس تاثیر تیمارهای آزمایش بر تلفات الک در دور کوبنده ۸۰ rpm

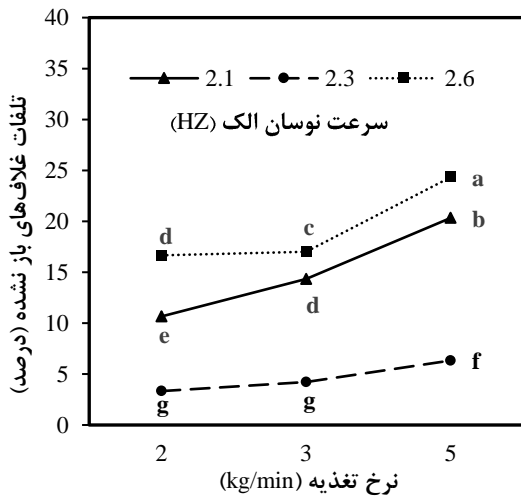
میانگین مربعات صفات مورد مطالعه			درجه آزادی	منابع تغییرات
تلفات کل (درصد)	تلفات غلاف‌های باز نشده (درصد)	تلفات دانه (درصد)		
۶۹۹/۱۱**	۵۱۵/۵۵**	۱۰۶/۵۹**	۲	سرعت نوسان الک (Hz)
۳۷۶**	۱۱۲/۶۰**	۷۷/۰۸**	۲	نرخ تغذیه (kg/min)
۱۹/۴۳**	۱۱/۱۴**	۴/۲۳*	۴	سرعت نوسان الک × نرخ تغذیه
۱/۲۳	۰/۴۸۶	۰/۳۳۶	۱۸	خطا آزمایشی
۵/۲۴	۹/۳۴	۱۶/۵۰		ضرب تغییرات (درصد)

ns، * و ** به ترتیب بیانگر عدم معنی دار و معنی داری در سطح ۵ و ۱ درصد می‌باشند.

اثر متقابل سرعت نوسان الک و نرخ تغذیه بر تلفات غلاف‌های باز نشده

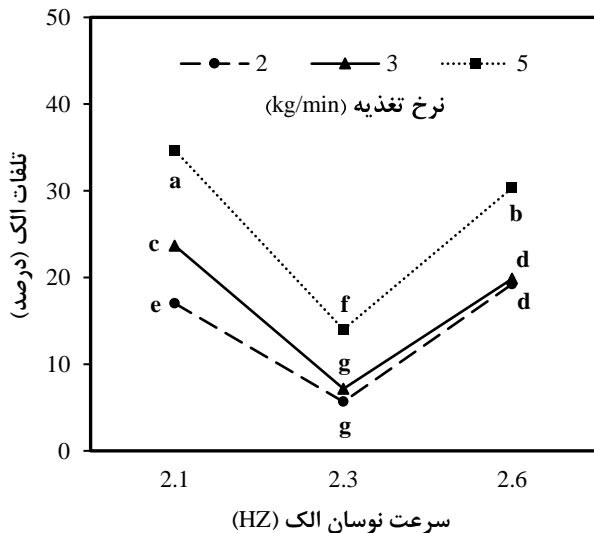
شکل (۱۱) نشان می‌دهد که با افزایش سرعت نوسان الک درصد تلفات غلاف‌های باز نشده کاهش و سپس افزایش می‌یابد همچنین مشاهده می‌شود در تمام سطوح سرعت الک با افزایش نرخ تغذیه به ۵ (kg/min) تلفات غلاف‌های باز نشده افزایش یافته است. در کمترین سرعت نوسان الک ۲/۱ (HZ) با افزایش نرخ

اثر متقابل سرعت نوسان الک و نرخ تغذیه بر تلفات دانه نمودار اثر متقابل سرعت نوسان الک و نرخ تغذیه بر تلفات دانه در شکل (۱۰) نشان داده شده است. با افزایش سرعت نوسان الک، تلفات دانه در تمام سطوح نرخ تغذیه کاهش می‌یابد. ویربی در بررسی میزان تلفات دستگاه بوجاری برای دانه‌ی شیدر گزارش کرد با افزایش سرعت نوسان الک میزان تلفات دانه و ناخالصی کاهش می‌یابد (Werby, 2010).



شکل ۱۱- نمودار مقایسه میانگین اثرات متقابل سرعت نوسان الک و نرخ تغذیه بر تلفات غلاف‌های باز نشده در خرمن کوب خرفه (حروف غیر مشابه در نمودار نشان دهنده تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال ۵٪ است).

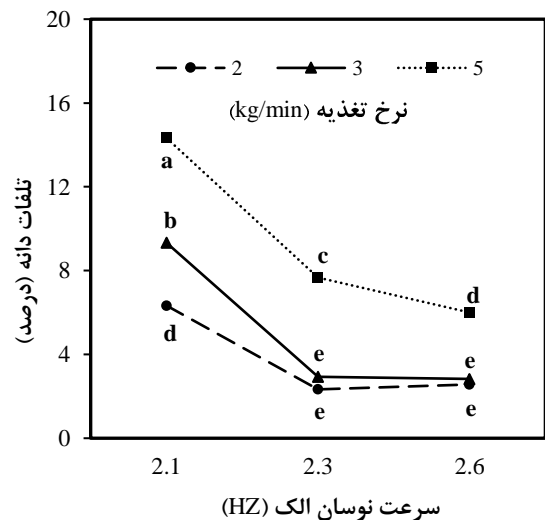
اثر متقابل سرعت نوسان و نرخ تغذیه بر تلفات کل الک نمودار اثر متقابل سرعت نوسان و نرخ تغذیه بر تلفات کل الک در شکل (۱۲) نشان داده شده است. با افزایش سرعت نوسان الک درصد تلفات کل ابتدا کاهش و سپس افزایش می‌یابد همچنین مشاهده می‌شود در تمام سطوح سرعت نوسان الک با افزایش نرخ تغذیه به از ۳ به ۵ (kg/min) درصد تلفات کل افزایش می‌یابد.



شکل ۱۲- نمودار اثرات متقابل سرعت نوسان الک و نرخ تغذیه بر تلفات الک (حروف غیر مشابه در نمودار تفاوت معنی‌داری در سطح ۵٪ است)

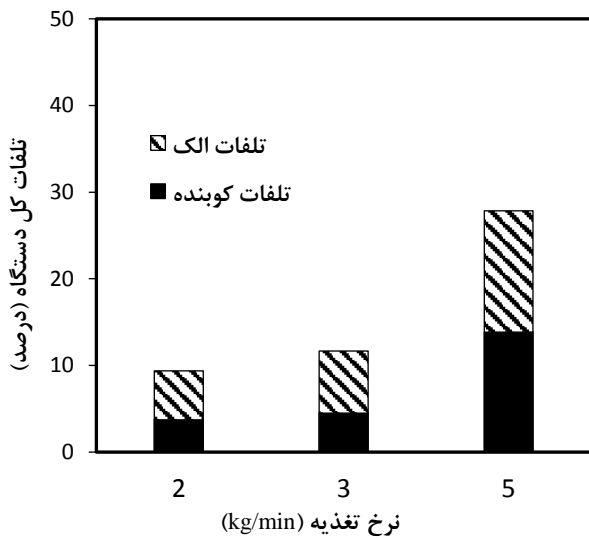
در کمترین سرعت نوسان الک (۲/۱ HZ) مشاهده شد که با افزایش نرخ تغذیه، تلفات به صورت معنادار افزایش پیدا می‌کند. در این سرعت نوسان، حرکت مواد روی الک به کندی انجام

تغذیه، تلفات به صورت معناداری افزایش پیدا می‌کند زیرا در این سرعت نوسان، سرعت حرکت مواد روی الک به کندی انجام می‌شود و غلاف‌ها نمی‌توانند از بین مواد غیر دانه‌ای عبور کنند و افزایش در حجم مواد ورودی موجب افزایش چشم‌گیر میزان تلفات تا ۱۶/۶۶ درصد شده است. در سرعت نوسان الک ۲/۳ و (HZ) در نرخ‌های تغذیه ۲ و ۳ (kg/min) به ترتیب با ۳/۳۳ و ۴/۲۳ درصد تلفات اختلاف معناداری مشاهده نشد. زیرا با افزایش سرعت الک، سرعت حرکت مواد بیشتر شده و تاثیر افزایش نرخ تغذیه بر تلفات کمتر می‌شود. به عبارت دیگر ارتفاع محصول و سرعت حرکت مواد روی الک در این سطح از سرعت نوسان الک مناسب می‌باشد و غلاف‌ها به راحتی می‌توانند از مواد غیر دانه‌ای جدا شوند. اما با افزایش نرخ تغذیه به ۵ (kg/min) ارتفاع محصول روی الک زیاد شده و تلفات غلاف‌ها به طور معنی‌دار افزایش یافته است. با افزایش سرعت نوسان الک به ۲/۶ (HZ) به دلیل عدم وجود زمان کافی برای باقی ماندن محصول روی الک درصد تلفات به طور معنی‌دار افزایش یافته است. همچنین مشاهده می‌شود بین نرخ تغذیه‌های ۲ و ۳ (kg/min) اختلاف معناداری وجود ندارد و با افزایش نرخ تغذیه به ۵ (kg/min) با ۲۴/۳۳ درصد تلفات با شیب بیشتری نسبت به سایر سطوح سرعت معنادار شده است زیرا در این سطح از سرعت الک، زمان کافی برای عبور غلاف‌های باز نشده از سوراخ‌های الک وجود ندارد و از طرفی با افزایش نرخ تغذیه از حد معینی بیش باری روی الک به وجود آمده و دانه‌ها به راحتی نمی‌توانند از مواد غیر دانه‌ای جدا شوند در نتیجه درصد تلفات به صورت چشم‌گیری افزایش پیدا کرده است.



شکل ۱۰- نمودار اثرات متقابل سرعت نوسان الک و نرخ تغذیه بر تلفات دانه در خرمن کوب خرفه (حروف غیر مشابه در نمودار نشان دهنده تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال ۵٪ است).

می‌یابد. به طور کلی تلفات دستگاه در نرخ تغذیه ۲، ۳ و ۵ (kg/min) به ترتیب ۹/۳۹، ۱۱/۶۶ و ۲۷/۸۳ درصد می‌باشد.



شکل ۱۳- نمودار اثر تلفات کل ماشین خرمکوب خرفه حروف غیر مشابه در نمودار نشان دهنده تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال ۵٪ است.

بازدهی واحد کوبنده

بازدهی کوبنده در کمترین تلفات (نرخ تغذیه ۲ kg/min و سرعت کوبنده ۸۰ rpm) با وزن کل دانه‌های ورودی ۰/۱ کیلوگرم، غلاف‌های باز نشده و جدا نشده از ساقه در تمام خروجی‌های ماشین ۰/۰۰۸ کیلوگرم، با استفاده از روابط (۱ و ۲) مقدار ۹۲ درصد محاسبه شد.

ظرفیت خروجی ماشین

با در نظر گرفتن وزن دانه‌های خارج شده از خروجی اصلی (۰/۰۹ کیلوگرم) و مدت زمان آزمایش دستگاه (۲ دقیقه) ظرفیت خروجی دستگاه با استفاده از رابطه (۳) در کمترین سطح از تلفات (سرعت دورانی ۸۰ rpm، سرعت نوسان الکترونیک ۲۰۰ rpm و نرخ تغذیه ۲ kg/min) ۲/۷ کیلوگرم بر ساعت محاسبه شد.

ارزیابی انرژی مصرفی ویژه ماشین

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها در جدول (۴) نشان می‌دهد که اثر سرعت دورانی کوبنده بر انرژی مصرفی ماشین در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار است. اما نرخ تغذیه و اثر متقابل نرخ تغذیه و سرعت دورانی کوبنده تاثیر معنی‌داری بر انرژی مصرفی ندارد.

اثر سرعت دورانی کوبنده بر انرژی مصرفی ویژه ماشین

نمودار اثر سرعت دورانی کوبنده بر انرژی مصرفی ویژه دستگاه در شکل (۱۴) نشان داده شده است. با افزایش سرعت دورانی کوبنده میزان انرژی مصرفی ویژه ماشین به طور معنی‌دار افزایش می‌یابد.

می‌شود و افزایش در حجم مواد ورودی موجب افزایش چشم‌گیر میزان تلفات دانه و غلاف باز نشده می‌شود. در سرعت‌های نوسان الکترونیک ۲/۳ و ۲/۶ (HZ) بین نرخ‌های تغذیه ۲ و ۳ (kg/min) اختلاف معناداری در میزان تلفات مشاهده نشد زیرا با افزایش سرعت الکترونیک، سرعت حرکت مواد بیشتر شده و تاثیر افزایش نرخ تغذیه بر تلفات کمتر می‌شود. به عبارت دیگر ارتفاع لایه محصول روی الکترونیک در این سطح از سرعت نوسان الکترونیک مناسب می‌باشد در نتیجه دانه‌ها و غلاف‌های باز نشده به راحتی می‌توانند جدا شوند. با افزایش نرخ تغذیه به ۵ کیلوگرم در دقیقه ارتفاع لایه محصول روی الکترونیک بیش از حد شده و تلفات به طور معنی‌دار افزایش یافته است. زیرا در سرعت ۲۰۰ دور دقیقه در این نرخ تغذیه، به دلیل بیش باری به وجود آمده روی الکترونیک، دانه‌ها و غلاف‌ها به راحتی نمی‌توانند از مواد غیر دانه‌ای جدا شوند و در سرعت ۲/۳ (HZ) علاوه بر بیش باری زمان کافی برای عبور غلاف‌ها از سوراخ‌های الکترونیک وجود ندارد در نتیجه درصد تلفات کل الکترونیک افزایش یافته است. کمترین و بیشترین تلفات کل الکترونیک به ترتیب در سرعت ۲/۳ (HZ) الکترونیک با نرخ تغذیه ۲ کیلوگرم، ۵/۶۶ درصد و در سرعت ۲/۱ (HZ) با نرخ تغذیه ۵ کیلوگرم، ۳۴/۶۶ درصد می‌باشد. ارفیا پس از طراحی و ساخت خرمکوب سویا نشان داد با افزایش بیش از حد سرعت نوسان الکترونیک، تلفات دانه افزایش می‌یابد او همچنین نشان داد با افزایش نرخ تغذیه تلفات افزایش می‌یابد که به منظور کاهش این تلفات می‌توان سرعت الکترونیک را تا حد معینی افزایش داد (Arfia, 2006) و همچنین جتوا و واشنی پس از طراحی و ساخت دستگاه بوجاری زیره سیاه گزارش کردند با افزایش سرعت الکترونیک از ۱۰۰ به ۱۵۰ rpm تلفات دانه کاهش و با افزایش سرعت به ۲۰۰ rpm تلفات افزایش می‌یابد که علت تلفات در سرعت پایین را به جدا نشدن دانه از مواد و در سرعت بالا به دلیل عدم زمان مورد نیاز برای عبور دانه از سوراخ الکترونیک دانستند (Jethva and Vashney, 2015).

تلفات کل ماشین

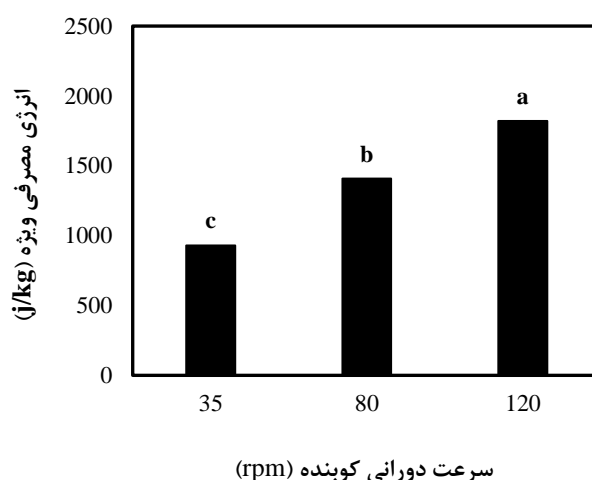
نمودار تلفات کل دستگاه در شکل (۱۳) نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود با افزایش نرخ تغذیه تلفات کل افزایش می‌یابد به این صورت که تلفات الکترونیک با افزایش نرخ تغذیه از ۲ به ۳ (kg/min) به ترتیب از ۳/۷۳ به ۴/۵۰ درصد افزایش قابل توجه‌ای نداشته است اما با افزایش نرخ تغذیه به ۵ (kg/min) با ۱۳/۸۳ درصد تلفات به صورت چشم‌گیر افزایش یافته است و تلفات کوبنده با افزایش نرخ تغذیه از ۲ به ۳ (kg/min) به ترتیب به ۵/۶۶ و ۷/۱۶ درصد افزایش یافته است و با افزایش نرخ تغذیه به ۵ (kg/min) تلفات با ۱۴ درصد به صورت چشم‌گیر افزایش

به طوری که در سرعت‌های دورانی کوبنده ۳۵، ۸۰ و ۱۲۰ (rpm) شده است. این روند افزایشی به علت افزایش مصرف سوخت موتور به ترتیب ۹۲۷/۶۷، ۱۴۰۸/۴۴ و ۱۸۲۰/۶۷ کیلو ژول انرژی مصرف در سرعت‌های بالا می‌باشد.

جدول ۴. تجزیه واریانس تاثیر تیمارهای آزمایشی بر انرژی مصرفی ویژه ماشین

F	میانگین مربعات	درجه آزادی	منابع تغییرات
۸۹۴۷۷۷**	۱۷۸۹۵۵۴	۲	سرعت دورانی کوبنده
۱/۷۹ ^{ns}	۳/۵۹	۲	نرخ تغذیه
۰/۶۳ ^{ns}	۱/۲۵	۴	سرعت دورانی کوبنده × نرخ تغذیه
	۲	۱۸	خطا
		۲۶	کل

** معنی دار در سطح احتمال ۱٪ و ns بیانگر عدم معنی دار است



شکل ۱۴- نمودار اثر سرعت دورانی کوبنده بر انرژی مصرفی ویژه ماشین خرمن کوب خرفه حروف غیر مشابه در نمودار نشان دهنده تفاوت معنی داری در سطح احتمال ۵٪ است.

(kg/min) و بازدهی کوبنده در کمترین سطح از تلفات ماشین ۹۲ درصد محاسبه شد. بیشترین ظرفیت خروجی ماشین در کمترین سطح از تلفات ۲/۷ کیلوگرم بر ساعت بدست آمد و در این سطح از ظرفیت خروجی، انرژی مصرفی ویژه ماشین برابر ۱۴۰۸/۴۴ (KJ/kg) اندازه‌گیری شد. هیچگونه تعارض منافع بین نویسندگان وجود ندارد.

نتیجه گیری

به طور کلی نتایج این پژوهش نشان داد که کمترین میزان تلفات واحد کوبنده در دور ۸۰ (rpm) و نرخ تغذیه ۲ (kg/min) مقدار ۳/۷۳ درصد تعیین گردید. همچنین کمترین مقدار تلفات الک ها در سرعت نوسان ۲/۳ (Hz) و نرخ تغذیه ۲ (kg/min) مقدار ۵/۶۶ درصد تعیین شد. کمترین میزان تلفات کل در نرخ تغذیه ۲

REFERENCES

- Anonymous. (1994). ASAE Standards S352.3. Moisture measurement- ungrounded grains and seed. In M.I. st. Joseph.
- Anonymous. (2015). Agricultural Statistics of the Crop Year 2013-2014. Ministry of Agriculture.
- Arfia, G. K. (2006, November). Engineering parameters affecting cleaning of soybean grains. The 14 th. In Annual Conference of the Misr Society of Agric. Eng (Vol. 22, pp. 807-822).
- Ghorbani, M., Bojarpour, M., Miyahi, M., Fayazi, J., and Tabatabai, S. (2013). The effect of portulaca oleracea on yield and carcass characteristics of broilers. Iranian Veterinary Journal, 4(9): 88-98. (in farsi).
- Jethva, k. r. and Vashney, A. K. (2015). Performance evaluation of developed reciprocating type cumin cleaner cum grader. International journal of Agricultural Engineering, 8(2): 151-159.
- Khalifeh, Rahnama, M., Kazemi, N. & Memardastjerdi, R. (2019). Investigating some of the physical properties of portulaca oleracea (stems and seeds) required in the design of harvesting machines and post harvesting. 16th National Congress of Agricultural Sciences and Plant Breeding of Iran, 5-7 February, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan, Iran. pp.59-6. (in farsi).
- Khazaei, J., Behrozi Lar, M., Rajabipour, A. &

- Mohtasbi, S. (2003). The effect of Threshing cylinder speed, moisture and size of pea pods on grain separation percentage and Percentage of broken grains in a fingertip beater. *Journal of Agricultural Engineering of Iran*, 4(34): 825-836. (in farsi).
- Nadew, A. A. 2015. Design and development of tef grain and chaff separating and cleaning machine. A thesis submitted to the school of graduate studies through the school of natural resource and environmental engineering haramaya university Pp 62-76.
- Saeedirad, M., Hossein, J., & Mehdinia, Abbas. (2009). The effect of threshing cylinder and concave properties and product moisture on the quality of green cumin beating. *Journal of Agricultural Engineering of Iran*, 4(10): 30-48. (in farsi).
- Smith, D., Dilio, B. J., Sims, D. H. (2006). Testing and Evaluation of Agricultural Machinery and Equipment. Translation: Saebi Monfar, H., Sedaghat Hosseini, S.M. Agricultural Research and Training Organization. Tehran. P. 327.
- Werby, R. (2010). Performance cleaning unit for clover seeds affecting some physical and mechanical properties. In *Misr Journal Agricultural Engineering*, 27(1): 266-283.