

Modeling and Optimizing Performance of Pumpkin Seed Separator Machine Using Response Surface Methodology

TAHER HAJIZADEH¹, SAMIRA ZAREEI^{2*}, JALAL KHODAEI³

1. M.Sc. Graduated Student, Department of Biosystem Engineering, University of Kurdistan, Kurdistan, Iran

2. Assistant Professor, Department of Biosystem Engineering, University of Kurdistan, Kurdistan, Iran

3. Assistant Professor, Department of Biosystem Engineering, University of Kurdistan, Kurdistan, Iran

(Received: Jan. 6, 2018- Revised: May. 5, 2018- Accepted: May. 14, 2018)

ABSTRACT

Separation is one of the important processes in harvesting agricultural products. Finding appropriate methods for improved separation of the seeds and reducing loss of the seeds in the separation devise are important challenges of this field. The aim of this research is to model and optimize performance of pumpkin seed separator machine. Experiments were conducted using response surface methodology and central composite design Results revealed that diameter of the separator shaft gear, width of the frictional belts and speed of the PTO shaft, at 1% probability level, and feed rate, at 5% probability level, have significant effects on seed loss percentage and purity of the seeds. Second-order regression models were presented for predicting response variables. Values of 3 days, 184 mm, 12.9 cm, 18.33 tons h⁻¹ and 450 rpm were outlined as the optimum values of rest after harvest, gear diameter, width of the frictional belt, feed rate and speed of the PTO shaft, respectively.

Keywords: Grain loss, machine capacity, optimal level, performance evaluation, separating.

مدل‌سازی و بهینه‌سازی عملکرد یک ماشین جداکننده تخم کدوی آجیلی با استفاده از روش سطح پاسخ (RSM)

طاهر حاجی زاده^۱، سمیرا زارعی^{۲*}، جلال خدائی^۳

۱. دانش آموخته کارشناسی ارشد، گروه مهندسی بیوسیستم، دانشگاه کردستان، کردستان، ایران

۲. استادیار گروه مهندسی بیوسیستم، دانشگاه کردستان، کردستان، ایران

۳. استادیار گروه مهندسی بیوسیستم، دانشگاه کردستان، کردستان، ایران

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۱۰/۱۶ - تاریخ بازنگری: ۱۳۹۷/۲/۱۵ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۷/۲/۲۴)

چکیده

جداسازی یکی از فرآیندهای مهم در عملیات پس از برداشت محصولات کشاورزی می‌باشد. یافتن روش‌هایی برای کاهش تلفات و جداسازی بهتر تخم کدو از چالش‌های مهم در این زمینه است. هدف از تحقیق حاضر مدل‌سازی و بهینه‌سازی عملکرد دستگاه جداکننده تخم کدوی آجیلی است. آزمایش‌ها با استفاده از روش سطح پاسخ و طرح مرکب مرکزی انجام شدند. نتایج نشان داد پارامترهای قطر چرخ‌دنده محور در واحد جداکننده پوسته، عرض لاستیک‌های ساینده و سرعت دورانی محور توان‌دهی در سطح احتمال ۱٪ و نرخ تغذیه در سطح احتمال ۵٪ بر درصد افت و درصد تمیزی تخم کدو اثر معنی‌داری داشتند. مدل‌های رگرسیونی درجه دوم به منظور پیش‌بینی متغیرهای پاسخ ارائه شد. مقادیر بهینه برای متغیرهای زمان پس از برداشت، قطر چرخ‌دنده، عرض لاستیک‌های ساینده، نرخ تغذیه و سرعت محور توان‌دهی به ترتیب برابر با ۳ روز، ۱۸۴ میلی‌متر، ۱۲/۹ سانتی‌متر، ۱۸/۳۳۷ تن در ساعت و ۴۵۰ دور در دقیقه به دست آمد.

واژه‌های کلیدی: ارزیابی عملکرد، افت تخم کدو، جداسازی، سطح بهینه، ظرفیت ماشین.

مقدمه

کدوی آجیلی محصولی با سطح زیر کشت نسبتاً قابل توجه در ایران است. بر طبق آمار فائو (FAO) سطح زیر کشت انواع کدو در ایران ۴۵ هزار هکتار، میزان تولید ۶۹۶ هزار تن و متوسط عملکرد ۱۵/۴۰ تن در هکتار بوده است که پس از چین، هند، روسیه و ایالات متحده مقام پنجم جهان را دارد (Anonymous, 2014a). گونه‌های توزیع شده در سراسر جهان می‌باشد و اخیراً به دلیل ارزش غذایی تخم کدو و نقش آن در حفظ سلامتی انسان از اهمیت بالایی برخوردار است (Prohens & Nuez, 2008). سطح زیر کشت کدوی آجیلی در ایران برابر با ۲۳۶۸۷ هکتار گزارش شده است (Anonymous, 2014b). عملکرد این محصول حدود ۴۰-۷۰ تن در هکتار می‌باشد. بعد از جداسازی تخم کدو، باقیمانده کدو شامل پوست، بخش گوشتی و الیاف داخل میوه قابلیت خوراکی نداشته و جزء ضایعات کشاورزی محسوب می‌شود (Hashemi & Razzaghzadeh, 2007).

عملیات جداسازی تخم کدو از گوشت آن که تا چند سال

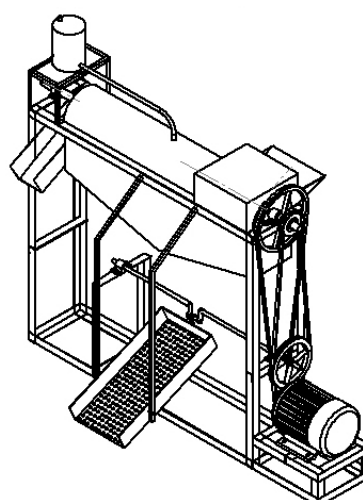
پیش به صورت دستی انجام می‌گرفت، نه تنها کاری طاقت‌فرسا بود؛ بلکه مستلزم هزینه زیاد، صرف زمان بیش‌تر و درصد بالای افت نیز بود. ماشین جداکننده تخم کدو تحول عظیمی را در این صنعت ایجاد کرد. بازده بالای این ماشین نسبت به روش دستی باعث محبوبیت آن گردید. سه نوع عمده مدل‌های مختلف این ماشین که در بازار موجود است شامل: ۱- ماشین جداکننده تخم کدو مجهز به سامانه بردارنده کدو از سطح مزرعه، ۲- ماشین جداکننده تخم کدو مجهز به مخزن تخم کدو و ۳- ماشین جداکننده تخم کدو از نوع ساده می‌باشد. فرآیند جداسازی تخم کدو در ماشین جداکننده نوع ساده شامل چهار مرحله (خرد کردن کدو، جداسازی پوسته، جداسازی گوشته و تمیز کردن نهایی) می‌باشد. هر کدام از این مراحل دارای پارامترهای عملیاتی متغیری برای جداسازی تخم کدو است. از مهم‌ترین پارامترهای وابسته به ماشین می‌توان به طراحی و انتخاب نوع مناسب اجزاء دستگاه، نرخ تغذیه محصول و برخی پارامترهای دیگر مانند سرعت دورانی محور در واحد خردکننده، واحد جداسازی پوسته و واحد جداسازی گوشته و همین‌طور تعداد و عرض تیغه‌های خردکننده و فاصله بین تیغه‌ها و غربال اشاره کرد. از مهم‌ترین پارامترهای وابسته به محصول نیز می‌توان به رقم محصول و رطوبت آن اشاره کرد.

که حداکثر مقدار بهره‌وری تمیز کردن برابر با $93/8\%$ و در شرایط فاصله بین تیغه‌ها با قسمت مقعر الک ۳ سانتی‌متر، سرعت خردکننده $0/46$ متر بر ثانیه، ۱۴ عدد تیغه خردکننده و نرخ تغذیه ۶۰ کیلوگرم بر دقیقه به دست آمد. تاکنون مطالعه‌ای جهت مدل‌سازی و بهینه‌سازی تنظیمات کاری ماشین جداسازی تخم کدوی آجیلی صورت نگرفته است. لذا هدف از انجام تحقیق حاضر، ارائه مدل برای پیش‌بینی مقادیر افت و درصد تمیزی تخم کدو در ماشین جداسازی تخم کدوی آجیلی از نوع ساده و نیز تعیین مقدار بهینه پارامترهای عملیاتی به منظور دستیابی به بهترین شرایط کاری ماشین جداسازی، یعنی کمترین میزان افت و بیشترین میزان تمیزی تخم کدو می‌باشد.

مواد و روش‌ها

آزمایش‌های تحقیق حاضر در شهریور ماه سال ۱۳۹۶ در مزرعه‌ای در فیروزق واقع در ۹ کیلومتری غرب شهرستان خوی به مختصات جغرافیایی $38/5781$ درجه شمالی و $44/8758$ درجه شرقی به منظور بهینه‌سازی عملکرد دستگاه جداکننده تخم کدو انجام گرفت. دستگاه جداکننده تخم کدوی مورد استفاده جهت انجام آزمایش‌ها از نوع ساده بود. انتخاب این دستگاه با توجه به کاربرد بیشتر این دستگاه در ایران نسبت به سایر انواع می‌باشد که دلایلی همچون هزینه کمتر، سازگاری با نحوه کشت کدوی آجیلی در ایران و نیز سازگاری با توان تراکتوری متوسط موجود دارد. نیروی مورد نیاز برای کار این دستگاه از محور توان‌دهی تراکتور تأمین می‌شود. نحوه کار دستگاه مطابق شکل (۲) به این صورت است که کدو ابتدا به‌طور دستی از طریق قیف تغذیه وارد محفظه خردکن شده و توسط تیغه‌های خردکننده خرد می‌گردد. تسمه‌ای لاستیکی که در ابتدای دریچه قیف تغذیه نصب گردیده مانع از پرتاب شدن کدو به بیرون در هنگام خرد شدن می‌گردد. کدو بعد از خرد شدن در واحد خردکن وارد واحد جداسازی پوسته می‌گردد. در واحد جداسازی پوسته کدو خرد می‌شود و توسط تیغه‌های ساینده به کف غربال مالیده شده و تخم کدو همراه گوشته از سوراخ غربال عبور کرده و وارد مرحله بعدی می‌گردد. پوسته نیز از انتهای استوانه به بیرون پرتاب می‌شود. اما تخم کدو به همراه گوشته محصول که از این غربال عبور کرده، وارد واحد جداسازی گوشته می‌گردد. در غربال جداسازی گوشته که استوانه‌ای شکل است نیز یک محور مانند واحد جداسازی پوسته قرار دارد. با حرکت دورانی شفت، نیروهای سایشی و گریز از مرکز باعث می‌شوند گوشته از سوراخ غربال به سمت بیرون پرتاب گردد و از تخم کدو جدا شود. برای تمیز شدن بهتر، از دو غربال در

از مطالعات انجام شده در زمینه طراحی، ساخت و ارزیابی ماشین‌های جداسازی دانه در محصولات جالیزی می‌توان به مطالعه *AL-Gaadi et al. (2011)* اشاره کرد. آن‌ها دستگاهی برای جدا کردن تخم کدو طراحی کردند. نحوه کار دستگاه به این صورت بود که ابتدا کدو را خرد کرده و سپس تخم کدو را از پوست، گوشت و سایر مواد جدا می‌کرد. ارزیابی دستگاه با بررسی سه پارامتر سرعت دورانی خردکننده، نرخ تغذیه و رطوبت، بر میزان افت انجام شد. نتایج آزمایش‌های آن‌ها نشان داد که میزان افت با نرخ تغذیه رابطه مستقیم و با درصد رطوبت رابطه عکس داشت. *Oloko & Agbetoye (2006)* دستگاهی برای جداسازی تخم خربزه ارائه نمودند. نحوه کار دستگاه به این صورت بود که ابتدا کدو را خرد کرده و سپس تخم خربزه را از پوست، گوشته و سایر مواد اضافی جدا می‌کرد. برای انجام آزمایش‌ها، خربزه داخل دستگاه ریخته می‌شد و به مدت ۳ تا ۶ دقیقه در شش سرعت (200 ، 250 ، 300 ، 350 ، 367 و 400 دور در دقیقه) عملکرد دستگاه مورد بررسی قرار می‌گرفت. فاصله بین تیغه‌ها و دیواره سیلندر یک سانتی‌متر در نظر گرفته شد و حداکثر مقدار بازده جداسازی تخم کدو نیز $68/8\%$ به دست آمد. *Agbetoye et al. (2013)* ماشین استخراج تخم خربزه ارائه شده توسط *Oloko & Agbetoye (2006)* را بهینه‌سازی کردند (شکل ۱) و عملکرد دستگاه را تحت پنج سرعت 122 ، 150 ، 163 ، 187 و 229 دور در دقیقه در سه حالت مختلف تغذیه در یک آزمایش فاکتوریل ارزیابی نمودند. نتایج ارزیابی عملکرد دستگاه اصلاح شده، پیشرفت چشم‌گیری را در استخراج تخم خربزه نشان داد. بالاترین بهره‌وری استخراج برابر با 98% در 229 دور بر دقیقه مشاهده شد.



شکل ۱- طرح دستگاه جداکننده تخم خربزه ارائه شده در مطالعه *Agbetoye et al. (2013)*

Mohamed (2014) دستگاهی برای استخراج تخم هندوانه ارائه و مورد ارزیابی قرار داد. نتایج آزمایش‌ها نشان داد

اساس وزن کل تخم کدوهای موجود در ضایعات (تخم کدوهای از دست رفته) به دست می‌آید. وزن خالص تخم کدو با توجه به مشخص بودن درصد ضایعات همراه تخم کدو در هر آزمایش و کم کردن آن از وزن کل تخم کدو به دست می‌آید. درصد افت را می‌توان با استفاده از رابطه (۲) محاسبه کرد (Aviara et al., 2008).

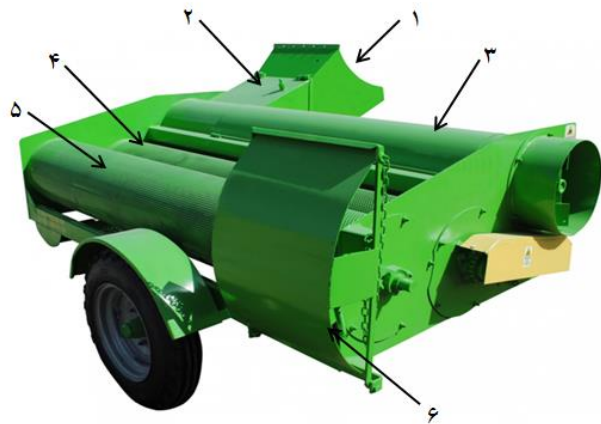
$$L_C = \frac{W_{SO}}{W_{TS}} \times 100 \quad (\text{رابطه ۲})$$

که در رابطه فوق: W_{TS} = وزن خالص تخم کدو (بر حسب کیلوگرم)، W_{SO} = وزن تخم کدوهای از دست رفته (بر حسب کیلوگرم) و L_C = افت تخم کدو (بر حسب درصد) می‌باشند.

روش سطح پاسخ

برای بررسی و تعیین تأثیر عوامل مؤثر بر افزایش تولید محصولات کشاورزی از روش‌های آماری طراحی آزمایش‌ها استفاده می‌شود (Chayjan & Fealekari, 2014). محققین اغلب به دنبال طرحی هستند که بتواند با دست‌یابی به اهدافی هم‌چون کم‌ترین هزینه یا کم‌ترین زمان صرف شده و استفاده حداکثر از کم‌ترین داده‌های موجود، امکان بهینه‌سازی و پیش‌بینی پاسخ‌های سیستم در شرایط معین را فراهم نماید. روش سطح پاسخ^۱ روش مناسبی برای نیل به این اهداف است (Myers & Montgomery, 1995; Aslan, 2007). رویکرد سطح پاسخ، ترکیبی از تکنیک‌های آماری می‌باشد و در زمره تکنیک‌های طرح آزمایش چند متغیره قرار دارد که در آن‌ها تأثیر چندین متغیر بر پاسخ به‌طور هم‌زمان مطالعه می‌گردد (Bas & Boyac, 2007). در روش سطح پاسخ طرح‌های مختلفی وجود دارد که انتخاب طرح مناسب در هر تحقیق بسیار حائز اهمیت است (Khuri & Mukhopadhyay, 2010). طرح مرکب مرکزی^۲ (CCD)، باکس بنکن^۳، دهلرت^۴ سه طرح معروف مورد استفاده در آزمایش‌های سطح پاسخ هستند. در بین این طرح‌ها، طرح مرکب مرکزی بهترین طرح در تحقیقات سطح پاسخ شناخته شده است (Wu & Hamada, 2000; Montgomery, 2009; Lenth, 2009). این طرح روشی جایگزین و مناسب برای طرح فاکتوریل می‌باشد (Box & Draper, 2007). از این رو، در تحقیق حاضر از طرح مرکب مرکزی برای انجام آزمایش‌ها و از نرم‌افزار Design Expert 10.0.7 برای تجزیه و تحلیل داده‌های آزمایش و تعیین شرایط بهینه عملکرد دستگاه استفاده می‌شود.

دستگاه استفاده شده است. در نهایت تخم کدوی تمیز شده از قسمت خروجی دستگاه جمع‌آوری می‌شود.



شکل ۲- دستگاه جداکننده تخم کدو شامل: ۱- قیف تغذیه ۲- خردکننده ۳- واحد جداسازی پوسته ۴- غربال جداسازی گوشته (بخش اول) ۵- غربال جداسازی گوشته (بخش دوم) ۶- قسمت خروجی تخم کدو

به‌منظور ارزیابی عملکرد دستگاه، پنج پارامتر عملیاتی شامل فاصله استراحت پس از برداشت یا به عبارت دیگر تعداد روزهای سپری شده از برداشت محصول تا تغذیه آن به دستگاه جداکننده (۳۰ و ۶ روز)، سرعت دورانی محور در واحد جداکننده پوسته (انتخاب چرخ‌دنده با قطر ۱۶۸، ۱۸۴ و ۲۰۰ میلی‌متر)، عرض لاستیک‌های ساینده (۱۰، ۱۳ و ۱۶ سانتی‌متر)، نرخ تغذیه (۱۰/۸، ۱۸ و ۲۵/۲ تن در ساعت) و سرعت دورانی محور توان‌دهی (۴۰۰، ۳۵۰ و ۴۵۰ دور در دقیقه) تعیین شد.

اندازه‌گیری درصد تمیزی و درصد افت تخم کدو

برای اندازه‌گیری درصد تمیزی تخم کدو در حین آزمایش، هنگامی که دستگاه به حالت پایدار کار خود می‌رسد، یک نمونه از تخم کدوی تمیز شده از خروجی دستگاه برداشته و به‌صورت دستی تمیز می‌شود. سپس وزن ناخالصی‌های جدا شده و نیز وزن تخم کدوهای تمیز شده به دست آمده و میزان تمیزی تخم کدو بر حسب درصد طبق رابطه (۱) محاسبه می‌گردد (Mohamed, 2014).

$$P_C = 100 - \left(\frac{W_w}{W_{TS}} \times 100 \right) \quad (\text{رابطه ۱})$$

که در این رابطه: P_C = درصد تمیزی تخم کدو، W_w = وزن ضایعات جدا شده و W_{TS} = وزن کل تخم کدو است.

اندازه‌گیری درصد افت تخم کدو در پژوهش حاضر به این صورت انجام می‌شود که وزن ضایعات در هر آزمایش اندازه‌گیری شده و سپس نمونه‌هایی با وزن مشخص از ضایعات برداشت و تخم کدوهای موجود در آن توزین می‌شود و بر این

1. Response surface method (RSM)
2. Central composite design
3. Box-behnken design
4. Doehlert

اثرات متقابل متغیرها و β_{jj} ضریب پارامتر درجه دوم است. پس از به دست آوردن ضرایب رگرسیونی، پاسخ تخمین زده شده با استفاده از معادله مدل به سادگی محاسبه می‌شود. از آنجا که معمولاً رفتار سیستم ناشناخته است؛ باید تطابق مدل با داده‌های آزمایشی مورد ارزیابی قرار گیرد. برای این منظور تکنیک‌های مختلفی مثل تجزیه و تحلیل باقیمانده‌ها، ریشه میانگین مربعات خطاهای پیش‌بینی شده و آزمون عدم تطابق را می‌توان به کار بست.

نتایج و بحث

نتایج اندازه‌گیری درصد افت تخم کدو در ماشین جداسازی تخم کدوی آجیلی

نتایج حاصل از تجزیه واریانس به‌منظور بررسی اثر پارامتر-های عملیاتی بر میزان افت تخم کدو، در جدول (۲) ارائه شده است. با توجه به تعداد زیاد اثرات متقابل، محدوده معنی‌داری ۱۰٪ به‌عنوان فیلتر اولیه برای جدول تجزیه واریانس در نظر گرفته شد. بر اساس نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها، مدل در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار شد. ضریب تغییرات داده‌های میزان افت تخم کدو (C.V) ۷/۰۸ و مقدار ضریب تبیین (R^2) برابر ۰/۹۸۶۶ به‌دست آمد. براساس جدول (۲)، پارامترهای زمان پس از برداشت (A)، قطر چرخ‌دنده محور در واحد جداکننده پوسته (B)، عرض لاستیک‌های ساینده (C) و سرعت دورانی محور توان‌دهی (E) در سطح احتمال ۱٪ و نرخ تغذیه (D) در سطح احتمال ۵٪ تأثیر معنی‌داری بر درصد افت تخم کدو داشتند. به‌علاوه، اثرات متقابل قطر چرخ‌دنده و عرض لاستیک‌های ساینده (BC)، سرعت دورانی محور در واحد جداکننده پوسته و سرعت دورانی محور توان‌دهی (BE)، عرض لاستیک‌های ساینده و نرخ تغذیه (CD) و همین‌طور عرض لاستیک‌های ساینده و سرعت محور توان‌دهی (CE) در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار بودند. هم‌چنین عبارات درجه دوم سرعت دورانی محور در واحد جداکننده پوسته (B^2) و عرض لاستیک‌های ساینده (C^2) در سطح احتمال ۱٪ و فاصله استراحت پس از برداشت (A^2) در سطح احتمال ۵٪ اثر معنی‌داری بر میزان افت تخم کدو نشان دادند.

به‌منظور بررسی اثر هر یک از متغیرهای مستقل بر میزان افت، می‌توان از نمودار پرشیدگی^۱ استفاده کرد. نمودار پرشیدگی، مقایسه اثر همه پارامترها را در یک نقطه خاص از

با توجه به تعداد متغیرهای مورد مطالعه و سطوح آنها، نرم‌افزار تعداد ۵۰ آزمایش را پیشنهاد می‌دهد که بعد از انجام هر آزمایش مقادیر درصد افت و میزان تمیزی ثبت می‌گردد.

در روش سطح پاسخ برای هر فاکتور دامنه‌ی انتخاب شده‌ای وجود دارد که این دامنه برای هر فاکتور بایستی کدبندی شده و در محدوده -۱ تا +۱ قرار گیرد تا تحلیل رگرسیون به خوبی انجام پذیرد. براساس طرح مرکب مرکزی، دامنه سطوح متغیرهای مستقل براساس مقادیر کد شده ۰ و ± 1 انتخاب می‌شود. مقادیر بیشینه و کمینه هر یک از متغیرهای مستقل در این پژوهش در جدول (۱) ارائه شده است.

جدول ۱- متغیرهای مستقل با استفاده از روش سطح پاسخ (طرح مرکب

مرکزی			متغیر	نماد	سطوح کدبندی شده متغیر
					+۱ ۰ -۱
فاصله پس از برداشت (روز)	A	۰	۳	۶	
قطر چرخ‌دنده (mm)	B	۱۶۸	۱۸۴	۲۰۰	
عرض لاستیک‌های ساینده (cm)	C	۱۰	۱۳	۱۶	
نرخ تغذیه (ton/hr)	D	۱۰/۸	۱۸	۲۵/۲	
سرعت محور توان‌دهی (rpm)	E	۳۵۰	۴۰۰	۴۵۰	

روش سطح پاسخ بر اساس طرح عاملی دو سطحی پایه‌ریزی شده است. یک عامل بالقوه در استفاده از طرح‌های عاملی دو سطحی، فرض خطی بودن اثرهای عاملی است. برای مدل‌سازی رفتار سیستم‌های دو عاملی خطی و هم‌چنین اثرهای متقابل از رابطه (۳) استفاده می‌شود (Raymond et al., 2009).

$$y = \beta_0 + \sum_{j=1}^k \beta_j x_j + \sum_{i \leq j} \sum \beta_{ij} x_i x_j \quad (\text{رابطه ۳})$$

رابطه فوق به مدل چند جمله‌ای درجه اول معروف است که می‌تواند بعضی خمیدگی‌ها را در تابع پاسخ نشان دهد. در بعضی موارد، خمیدگی‌های تابع پاسخ نمی‌توانند به‌طور مناسب و دقیق از طریق فرمول بالا مدل شوند. در این‌گونه موارد از مدل بهتری که به‌طور وسیعی در تمامی معادلات چند عاملی به کار می‌رود استفاده می‌شود. این مدل به مدل سطح پاسخ مرتبه دو معروف است که به‌صورت رابطه (۴) ارائه می‌شود (Kathleen et al., 2004).

(رابطه ۴)

$$y = \beta_0 + \sum_{j=1}^k \beta_j x_j + \sum_{i \leq j} \sum \beta_{ij} x_i x_j + \sum_{j=1}^k \beta_{jj} x_j^2$$

در روابط فوق، y متغیر پاسخ، x_j متغیر مستقل، k

تعداد متغیرها، β_0 ثابت مدل، β_j ضرایب متغیرها، β_{ij} ضریب

^۱ Perturbation

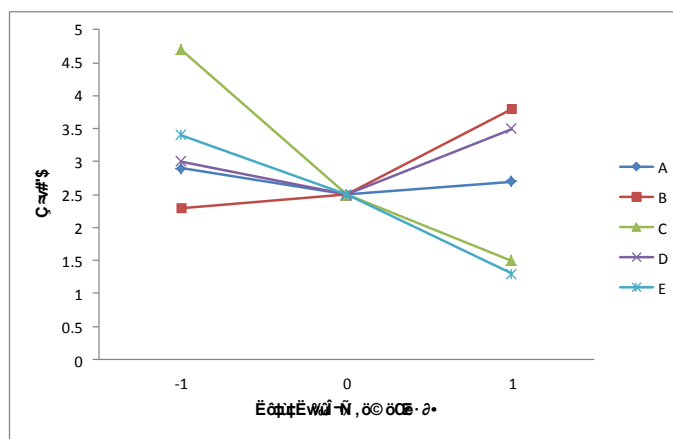
۱- تا صفر است که در نقطه صفر حداقل افت تخم کدو را به همراه دارد. دلیل امر می‌تواند چنین توجیه شود که احتمالاً با گذشت زمان بیشتر از برداشت محصول و با نرمتر شدن گوشته و پوسته، میزان چسبندگی تخم کدو به سایر قسمت های کدو کاهش می‌یابد. این یافته با نتایج مطالعه Tayel *et al.* (2010) که در تحقیق خود کاهش افت تخم کدو را به دنبال افزایش زمان پس از برداشت گزارش دادند هم‌خوانی دارد.

فضای طراحی امکان‌پذیر می‌کند. تغییرات درصد افت تخم کدو، زمانی که هر یک از متغیرهای مستقل از نقطه مرکزی عبور می‌کنند در شکل (۳) نشان داده شده است. مطابق شکل، خط A که مربوط به زمان پس از برداشت است و در حقیقت تأثیر رطوبت محصول بر میزان افت تخم کدو را نشان می‌دهد، نسبت به دیگر پارامترها کم‌ترین شیب تغییرات را دارد. با افزایش آن میزان افت کاهش پیدا می‌کند و بیش‌ترین تأثیر آن نیز از نقطه

جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس آزمایش‌های درصد افت تخم کدو در ماشین جداکننده تخم کدوی آجیلی

F	میانگین مربعات	مجموع مربعات	درجه آزادی	منابع تغییرات
**۲۰۴/۵۶	۱۶/۴۷	۲۱۴/۰۵	۱۳	مدل
**۱۱/۸۳	۰/۹۵	۰/۹۵	۱	A- زمان پس از برداشت
**۱۸۶/۴۷	۱۵/۰۱	۱۵/۰۱	۱	B- قطر چرخ‌دنده
**۱۱۴۸/۳۷	۹۲/۴۳	۹۲/۴۳	۱	C- عرض تسمه
**۷/۲۰	۰/۵۸	۰/۵۸	۱	D- نرخ تغذیه
**۴۹۲/۱۶	۳۹/۶۱	۳۹/۶۱	۱	E- سرعت محور PTO
**۲۶/۳۶	۲/۱۲	۲/۱۲	۱	BC
**۴۱/۳۵	۳/۳۳	۳/۳۳	۱	BE
**۱۰/۸۲	۰/۸۷	۰/۸۷	۱	CD
**۱۰/۶۶	۰/۸۶	۰/۸۶	۱	CE
**۴/۸۱	۰/۳۹	۰/۳۹	۱	A ²
**۱۱/۵۱	۰/۹۳	۰/۹۳	۱	B ²
**۱۵/۹۳	۱/۲۸	۱/۲۸	۱	C ²
**۲۱/۳۴	۱/۷۲	۱/۷۲	۱	D ²
-	۰/۰۸	۲/۹۰	۳۶	خطا
-	-	۲۱۶/۹۴	۴۹	کل

** معنی‌دار در سطح احتمال ۱٪ * معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪



شکل ۳- نمودار تغییرات درصد افت تخم کدو با تغییر جزئی متغیرهای A, B, C, D و E حول نقطه مرکزی

تا +۱ افت تخم کدو به‌طور چشم‌گیری افزایش پیدا می‌کند. این نتایج با یافته Abd El-Hameed (1994) که بیان داشت افزایش سرعت محور توان‌دهی در ماشین‌های جداسازی تخم کدو با

خط B روند تأثیر سرعت محور در واحد جداسازی پوسته را بر درصد افت تخم کدو نشان می‌دهد که با افزایش قطر چرخ‌دنده یا به عبارت دیگر با کاهش سرعت محور از نقطه صفر

تخم کدو به همراه ضایعات خروجی از دستگاه بیشتر می‌شود. با توجه به خط E، با افزایش سرعت دورانی محور توان‌دهی میزان افت تقریباً به صورت یک خط مستقیم کاهش پیدا می‌کند. دلیل این امر، اولاً ناشی از زیاد خرد شدن کدو در مرحله خرد شدن بر اثر افزایش سرعت است که سبب می‌شود تخم کدوها راحت از پوسته کدو جدا شده و وارد مرحله بعدی گردند؛ ثانیاً افزایش سرعت دورانی باعث ایجاد نیروی گریز از مرکز و ارتعاش بیش‌تر دستگاه می‌گردد که هر دوی این عوامل سبب تسهیل عمل جداسازی می‌شوند. علاوه بر دلایل ذکر شده، افزایش سرعت مانع از جمع شدن محصول در داخل الک می‌شود که این نیز در عمل جداسازی مؤثر می‌باشد. نتایج مشابهی در مطالعه *Agbetoye et al.* (2013) بر روی ماشین جداسازی تخم خربزه ارائه شد.

شکل (۴) اثرات متقابل متغیرهای مورد مطالعه را بر درصد افت تخم کدو نشان می‌دهد. قسمت (الف) این شکل، روند تغییرات اثر متقابل قطر چرخ‌دنده و عرض لاستیک‌های ساینده بر درصد افت تخم کدو را نشان می‌دهد. مطابق شکل با افزایش عرض لاستیک‌های ساینده، مقدار افت به‌طور قابل توجهی کاهش پیدا می‌کند و کم‌ترین درصد افت با چرخ‌دنده‌ای به قطر ۱۶۸ میلی‌متر حاصل می‌شود. با افزایش قطر چرخ‌دنده در مقادیر کم عرض لاستیک‌ها، درصد افت تخم کدو افزایش پیدا می‌کند که این افزایش، در مقادیر زیاد عرض لاستیک‌ها بیش‌تر است. همان‌طور که در قسمت (ب) این شکل قابل مشاهده است، با افزایش قطر چرخ‌دنده درصد افت تخم کدو افزایش چشم‌گیری دارد. افزایش فاصله زمانی پس از برداشت تا تغذیه کدو به دستگاه نیز تا روز سوم باعث کاهش تلفات تخم کدو شده و پس از آن تا روز ششم روند افزایشی در افت تخم کدو مشاهده می‌شود.

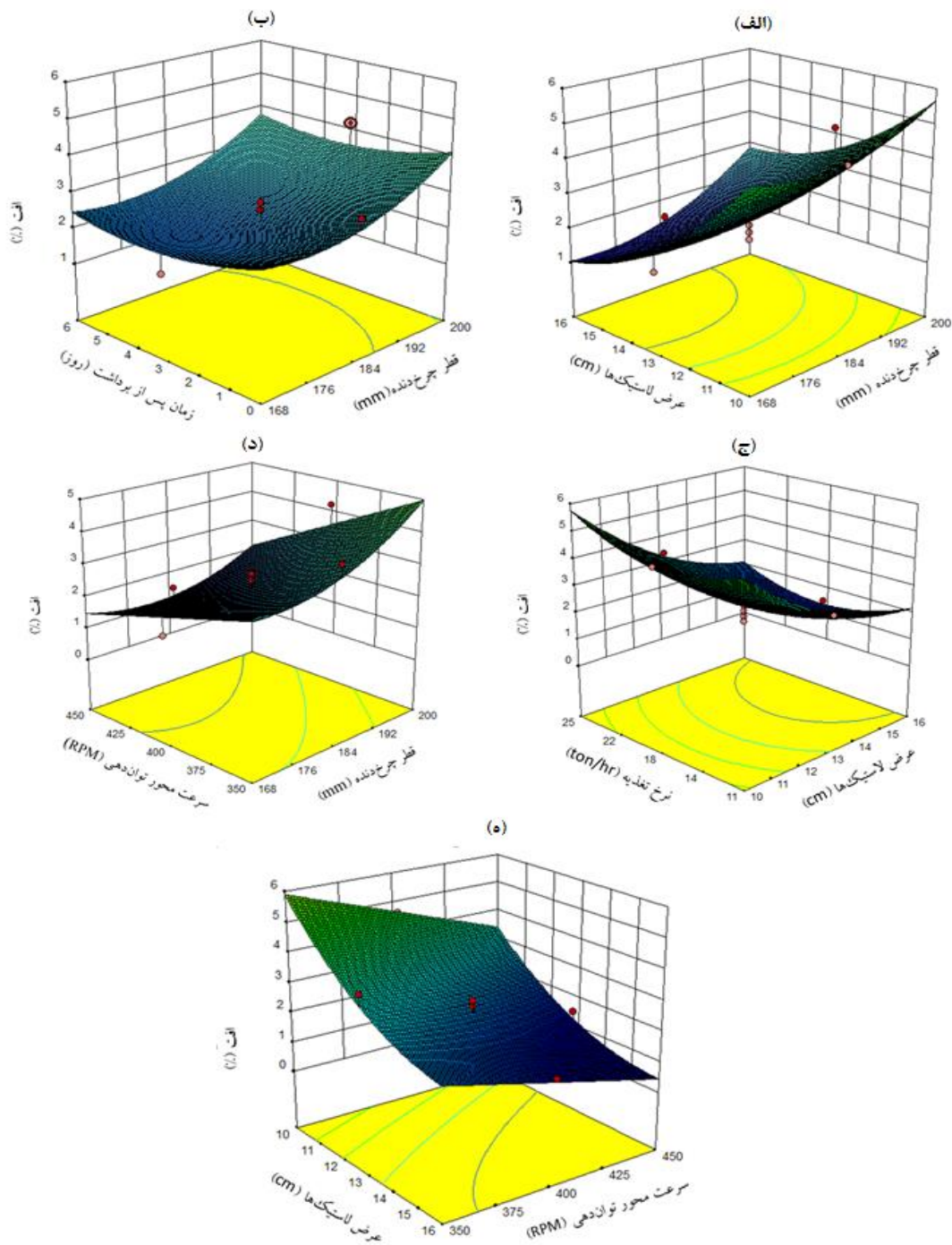
قسمت (ج) شکل (۴) روند اثر متقابل عرض لاستیک‌های ساینده و نرخ تغذیه را بر درصد افت تخم کدو نشان می‌دهد. با توجه به شکل می‌توان بیان کرد که در مقادیر بالای عرض لاستیک‌های ساینده با افزایش نرخ تغذیه تا ۱۸ تن بر ساعت درصد افت تخم کدو کاهش پیدا می‌کند و سپس با افزایش نرخ تغذیه درصد افت افزایش پیدا می‌کند. همین‌طور با افزایش عرض لاستیک‌های ساینده، درصد افت کاهش پیدا می‌کند که این کاهش، در مقادیر بالاتر نرخ تغذیه نسبتاً بیش‌تر است. این امر بدیهی است زیرا در صورتی که نرخ تغذیه خیلی کم شود باعث عدم مالیده شدن مناسب پوسته‌ها به کف غربال می‌شود و در نتیجه تخم کدو همراه ضایعات هدر می‌رود. اثر متقابل سرعت محور توان‌دهی و قطر چرخ‌دنده بر درصد افت تخم کدو

افزایش بهره‌وری جداسازی همراه است مطابقت دارد. همچنین *Abou-Elmagd et al.* (2006) در بررسی تاثیر سرعت محور واحد جداکننده در ماشین جداسازی تخم هندوانه بر روی افت دانه بیان کردند که کاهش سرعت محور جداکننده باعث کاهش نیروی ضربه تسمه‌ها و کاهش انرژی جنبشی تخم‌های هندوانه می‌شود و در پی آن تخم‌های بیش‌تری همراه با ضایعات دفع می‌شوند. خط C که مربوط به عرض تسمه‌های ساینده است بیش‌ترین تغییرات را نسبت به بقیه پارامترها دارد که بیانگر اثر بیش‌تر این پارامتر بر درصد افت تخم کدو است. هم‌چنین تغییرات این پارامتر تقریباً به صورت خطی است که در ابتدا از ۱- تا صفر شیبی به مراتب تندتر از صفر تا ۱+ دارد. شیب این خط نشان می‌دهد که با افزایش عرض لاستیک‌های ساینده، درصد افت تخم کدو به سمت حداقل خود تمایل پیدا می‌کند. در توضیح این تغییرات می‌توان بیان کرد که لاستیک‌های ساینده با مالش کدوی خرد شده به کف غربال، تخم کدو را از پوسته جدا و وارد غربال جداسازی گوشته می‌کنند، لذا با افزایش عرض لاستیک‌های ساینده، تخم کدوهای بیش‌تری از پوسته جدا شده و وارد مرحله بعدی می‌گردند. از سوی دیگر، با کاهش عرض لاستیک‌ها، سطح تماس لاستیک‌ها با غربال کم شده و تخم کدو همراه با ضایعات هدر می‌رود. دلیل کم شدن شیب این خط در نیمه دوم نمودار نسبت به نیمه اول آن می‌تواند این‌طور توضیح داده شود که با افزایش زیاد عرض لاستیک‌ها، مقدار هم‌پوشانی لاستیک‌ها بیش‌تر شده و مسیر حرکت رو به جلوی کدوی خرد شده در داخل غربال تنگ می‌گردد. این امر سبب جمع شدن محصول در داخل الک و گرفتگی مسیر می‌شود که در نتیجه آن، بیش باری اتفاق افتاده و نهایتاً تأثیر افزایش عرض لاستیک بر روی درصد افت تخم کدو کاهش می‌یابد.

خط D تأثیر نرخ تغذیه بر درصد افت را نشان می‌دهد که در نقطه صفر کم‌ترین میزان افت را دارد. کم بودن شیب این خط، حساسیت نسبتاً کم پاسخ این پارامتر به تغییرات را نشان می‌دهد. اما شیب این خط از نقطه صفر به سمت ۱+ رو به افزایش است که نشان می‌دهد افزایش نرخ تغذیه از یک مقدار مشخص به بالا سبب افزایش افت تخم کدو می‌شود. نتایج حاضر با یافته‌های *Abou-Elmagd et al.* (2006) و *AL-Gaadi et al.* (2011) که به ترتیب طی پژوهشی بر روی دستگاه جداکننده تخم هندوانه و دستگاه جداکننده تخم کدو بیان کردند افزایش نرخ تغذیه با افزایش درصد افت همراه است، مطابقت دارد؛ چرا که با افزایش نرخ تغذیه و ورود حجم بیش‌تر محصول به داخل ماشین، جداسازی به طور مناسب انجام نمی‌شود و امکان وجود

سرعت محور توان‌دهی بیشتر است. دلیل این مسئله این است که هنگامی که سرعت محور توان‌دهی کم باشد کدو کمتر خرد شده که این پدیده همراه با افزایش عرض لاستیک‌های ساینده، سبب تنگ شدن مسیر حرکت ضایعات می‌شود که در نتیجه آن محصول خرد شده در داخل الک انباشته شده و باعث عدم انجام مناسب عملیات جداسازی دانه در این واحد می‌گردد. اما در صورتی که عرض لاستیک‌های ساینده کم‌تر باشد تأثیرات متقابل این دو عامل نسبتاً کمتر می‌گردد.

در قسمت (د) شکل (۴) مشاهده می‌شود. مطابق با این شکل، با افزایش سرعت محور توان‌دهی و همین‌طور با کاهش قطر چرخ دنده که با افزایش سرعت محور جداسازی پوسته همراه است، درصد افت تخم کدو کاهش پیدا می‌کند. اثر متقابل عرض لاستیک‌های ساینده و سرعت محور توان‌دهی بر درصد افت تخم کدو در قسمت (ه) نشان داده شده است. با توجه به این شکل می‌توان مشاهده کرد که با افزایش عرض لاستیک‌ها، درصد افت کاهش پیدا می‌کند ولی شیب این کاهش افت در مقادیر پایین



شکل ۴- اثر متقابل متغیرهای الف) قطر چرخ‌دنده و عرض لاستیک‌های ساینده، ب) زمان پس از برداشت و قطر چرخ‌دنده ج) عرض لاستیک‌های ساینده و نرخ تغذیه، د) قطر چرخ‌دنده و سرعت محور توان‌دهی و ه) سرعت محور توان‌دهی و عرض لاستیک‌های ساینده بر درصد افت تخم کدو

پارامترهای مؤثر در کار دستگاه جداسازی تخم کدو آجیلی، ارائه شد.

با استفاده از نتایج به‌دست آمده از آزمایش‌ها، مدل (۵) برای محاسبه مقدار درصد افت تخم کدو با توجه به

(رابطه ۵)

$$Loss = 83.60956 - 0.31218 A - 5.17896 B - 3.77108 C - 0.44478 D + 0.031945 E + 0.042917 BC - 0.003225 BE - 0.0076389 CD + 0.001092 CE + 0.042733 A^2 + 0.14865 B^2 + 0.077733 C^2 + 0.015617 D^2$$

پوسته، نرخ تغذیه و سرعت محور توان‌دهی (BDE) و همین‌طور اثر متقابل چهارگانه قطر چرخ‌دنده محور در واحد جداسازی پوسته، عرض لاستیک‌های ساینده، نرخ تغذیه و سرعت محور توان‌دهی (BCDE) در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار بودند. بقیه اثرات متقابل یا درجه دوم که ذکر نشده‌اند بی‌معنی بودند. جدول ۳- نتایج تجزیه واریانس آزمایش‌های درصد تمیزی تخم کدو در

ماشین جداکننده تخم کدوی آجیلی

منابع تغییرات	درجه آزادی	مجموع		F
		مربعات	میانگین مربعات	
مدل	۱۳	۱۲۸/۸۷	۹/۹۱	**۱۶/۵۳
A- زمان پس از برداشت	۱	۱/۷۲	۱/۷۲	n.s ۲/۸۷
B- قطر چرخ‌دنده	۱	۴/۷۴	۴/۷۴	**۷/۹۱
C- عرض تسمه	۱	۵۴/۳۸	۵۴/۳۸	**۹۰/۶۹
D- نرخ تغذیه	۱	۲/۷۶	۲/۷۶	*۴/۶۰
E- سرعت محور PTO	۱	۵/۲۳	۵/۲۳	**۸/۷۲
BC	۱	۴/۵۱	۴/۵۱	**۷/۵۲
CD	۱	۲/۳۴	۲/۳۴	n.s ۳/۹۰
CE	۱	۵/۰۳	۵/۰۳	**۸/۳۹
A ²	۱	۳/۰۶	۳/۰۶	*۵/۱۱
B ²	۱	۲/۰۶	۲/۰۶	n.s ۳/۴۴
BCE	۱	۶/۱۳	۶/۱۳	**۱۰/۲۳
BDE	۱	۵/۰۰	۵/۰۰	**۸/۳۴
BCDE	۱	۹/۳۹	۹/۳۹	**۱۵/۶۵
خطا	۳۶	۲۱/۵۹	۰/۶۰	-
کل	۴۹	۱۵۰/۴۶	-	-

** معنی‌دار در سطح احتمال ۱٪ * معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪

n.s عدم معنی‌داری

به‌منظور بررسی اثر هر یک از متغیرهای مستقل بر میزان تمیزی تخم کدو، می‌توان از نمودار پرشیدگی استفاده کرد. در شکل (۵)، تغییرات در میزان تمیزی تخم کدو، به ازای سطوح مختلف هر یک از متغیرهای مستقل نشان داده شده است. مطابق این شکل، خط A که مربوط به زمان پس از برداشت است و در واقع تأثیر رطوبت محصول بر میزان تمیزی تخم کدو را نشان می‌دهد، با افزایش مقدار آن از سطح اول تا سطح دوم یا نقطه مرکزی، درصد تمیزی تخم کدوها بیش‌تر شده و پس از آن، از نقطه مرکزی به بعد افزایش آن باعث کاهش درصد تمیزی تخم کدو می‌شود. دلیل این امر می‌تواند چنین بیان شود

که در آن: Loss = افت تخم کدو (بر حسب درصد)، A = فاصله استراحت پس از برداشت (تعداد روز)، B = قطر چرخ‌دنده (بر حسب میلی‌متر)، C = عرض لاستیک‌های ساینده (بر حسب سانتی‌متر)، D = نرخ تغذیه (بر حسب تن در ساعت)، E = سرعت محور توان‌دهی (بر حسب دور در دقیقه) می‌باشد. آزمون تطبیق مقادیر حقیقی اندازه‌گیری شده درصد افت تخم کدو از آزمایش‌ها در مقابل مقادیر پیش‌بینی شده توسط مدل (۵) نشان داد که این مدل می‌تواند درصد افت تخم کدو را در محدوده مشخص شده برای متغیرهای مستقل با ضریب تبیین ۰/۹۸۶۶ تخمین بزند.

نتایج اندازه‌گیری درصد تمیزی تخم کدو در ماشین جداسازی تخم کدوی آجیلی

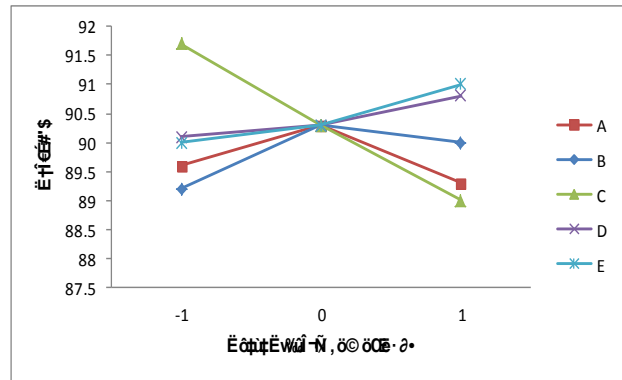
نتایج حاصل از تجزیه واریانس به‌منظور بررسی اثر پارامترهای عملیاتی بر درصد تمیزی تخم کدو، در جدول (۳) ارائه شده است. با توجه به تعداد زیاد عوامل و اثرات متقابل، محدوده معنی‌داری ۱۰٪ به‌عنوان فیلتر اولیه برای جدول تجزیه واریانس در نظر گرفته شد. براساس نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها، مدل در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار شد. ضریب تغییرات داده‌های میزان تمیزی تخم کدو (C.V) ۰/۸۷ و همین‌طور مقدار ضریب تبیین (R²) برابر ۰/۸۵۶۵ به‌دست آمد. براساس جدول (۳)، تأثیر زمان پس از برداشت بر میزان تمیزی تخم کدو بی‌معنی بود و پارامترهای قطر چرخ‌دنده محور در واحد جداکننده پوسته، عرض لاستیک‌های ساینده و سرعت دورانی محور توان‌دهی در سطح احتمال ۱٪ و نرخ تغذیه در سطح احتمال ۵٪ تأثیر معنی‌داری بر روی درصد تمیزی تخم کدو داشتند. به‌علاوه، اثرات متقابل دوگانه قطر چرخ‌دنده محور در واحد جداکننده پوسته و عرض لاستیک‌های ساینده (BC)، و همین‌طور عرض لاستیک‌های ساینده و سرعت محور توان‌دهی (CE) در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار بوده است. عبارت درجه دوم زمان پس از برداشت (A²) در سطح احتمال ۵٪ معنی‌دار بود. هم‌چنین اثرات متقابل سه‌گانه قطر چرخ‌دنده محور در واحد جداسازی پوسته، عرض لاستیک‌های ساینده و سرعت محور توان‌دهی (BCE)، قطر چرخ‌دنده محور در واحد جداسازی

تسمه های واحد جداسازی با سوراخ‌های غربال را بر میزان تمیزی تخم های هندوانه خروجی از دستگاه بررسی کردند. نتایج حاصل از مطالعه آن‌ها نشان داد که با کاهش فاصله مذکور، چگالی محصول عبوری افزایش می یابد که کاهش تمیزی تخم هندوانه را در پی دارد.

خط D تأثیر نرخ تغذیه بر درصد تمیزی تخم کدو را نشان می‌دهد که در اثر افزایش آن درصد تمیزی تخم کدو نیز با شیبی ملایم افزایش پیدا می‌کند. این نتیجه نیز مورد انتظار است زیرا با افزایش نرخ تغذیه، الک واحد جداسازی پوسته پر شده و لاستیک‌های ساینده فرصت کافی برای مالش کدوی خرده شده به کف غربال را پیدا نمی‌کنند که در نتیجه آن، ضایعات کم‌تری همراه تخم کدو از سوراخ‌های غربال عبور می‌کنند که به دنبال آن احتمال افزایش درصد تمیزی تخم کدوها وجود دارد. نتایج حاصل از مطالعه EL-Desoukey (2008) نشان داد که درصد تمیزی تخم‌های هندوانه با افزایش نرخ تغذیه بالا می‌رود. خط E تأثیر سرعت محور توان‌دهی بر میزان تمیزی تخم کدو را نشان می‌دهد. با افزایش سرعت دورانی محور توان‌دهی، میزان تمیزی تخم کدو تقریباً به‌صورت یک خط مستقیم با شیب کم افزایش پیدا می‌کند. هنگامی که سرعت محور توان‌دهی افزایش پیدا می‌کند در واقع سرعت محور در تمام واحدها افزایش پیدا می‌کند. از طرفی چون واحد تمیزسازی متشکل از دو الک است نه تنها ضایعاتی را که در اثر افزایش سرعت وارد این واحد شده، بلکه ضایعات بیش‌تری را نیز از تخم کدو جدا می‌کند که نهایتاً موجب افزایش تمیزی تخم کدو می‌شود. این نتیجه منطبق بر نتایج حاصل از بررسی (Abdrabo 2014) بر روی ماشین جداسازی تخم هندوانه است.

شکل (۶) اثرات متقابل متغیرهای مورد مطالعه را بر درصد تمیزی تخم کدو نشان می‌دهد. قسمت (الف) این شکل، روند تغییرات اثر متقابل قطر چرخ‌دنده محور در واحد جداسازی پوسته و عرض لاستیک‌های ساینده را بر درصد تمیزی تخم کدو نشان می‌دهد. مطابق شکل با افزایش عرض لاستیک‌های ساینده، در مقادیر پایین‌تر قطر چرخ‌دنده مقدار تمیزی به‌طور قابل توجهی کاهش پیدا می‌کند که این کاهش، در مقادیر بالاتر قطر چرخ‌دنده بیش‌تر است و نیز با افزایش قطر چرخ‌دنده در مقادیر کم عرض لاستیک‌های ساینده درصد تمیزی افزایش پیدا می‌کند که مقدار این افزایش در مقادیر زیاد عرض لاستیک‌های ساینده به مراتب بیش‌تر است. البته در صورتی که قطر چرخ‌دنده از یک حد معینی بیش‌تر افزایش پیدا کند، سبب کاهش درصد تمیزی تخم کدو می‌گردد.

که احتمالاً با افزایش زیاد زمان پس از برداشت پوسته و گوشته کدو بیش‌تر نرم شده و در واحد جداسازی پوسته راحت خرد شده و همراه تخم کدو از سوراخ غربال عبور کرده و سبب افزایش ناخالصی در تخم کدوهای تمیز شده می‌گردد. نتایج حاصل از مطالعه (AL-Gaadi et al. 2011) بر روی ماشین جداسازی تخم کدو، نتایج فوق را تأیید می‌کند.

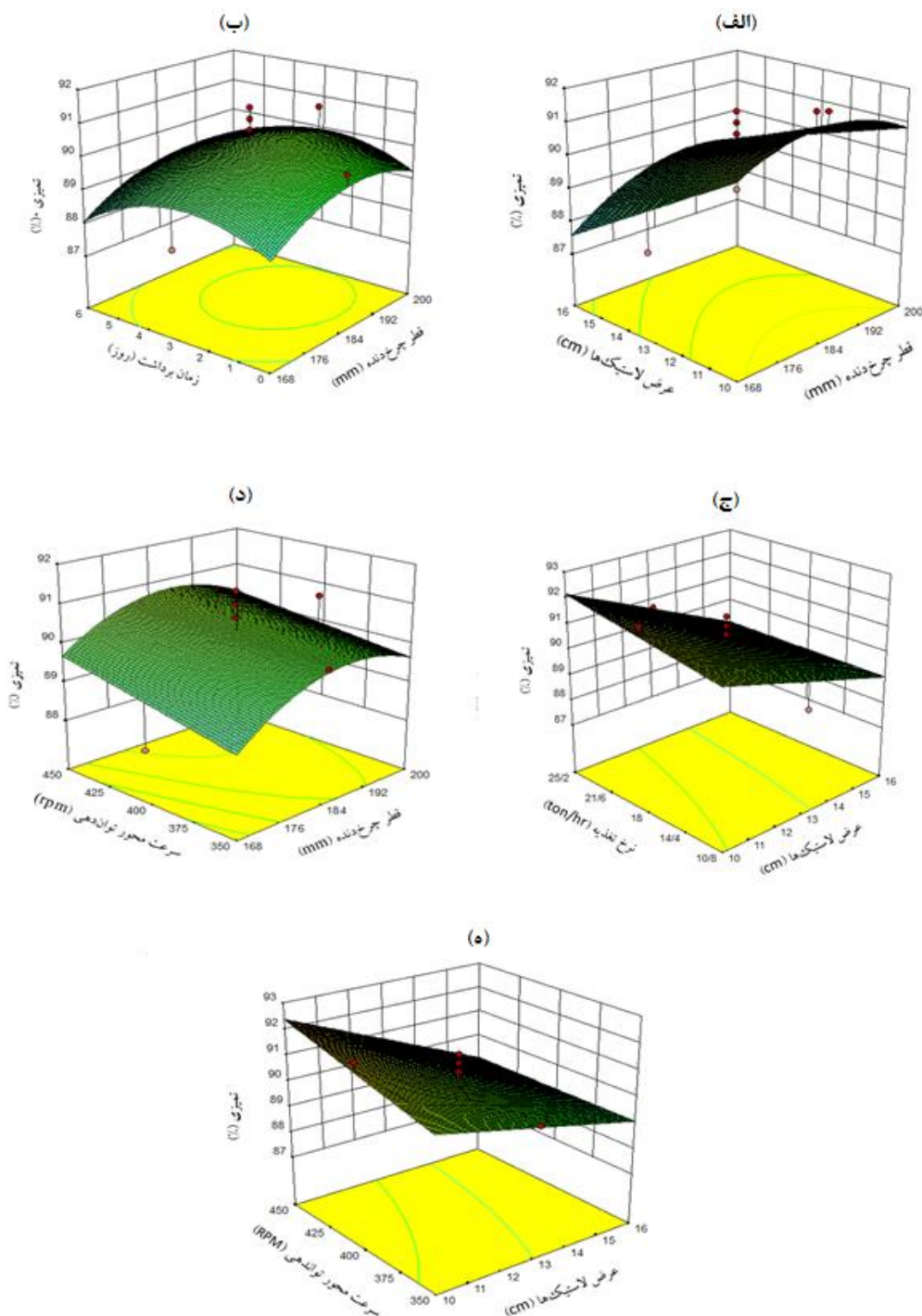


شکل ۵- نمودار تغییرات درصد تمیزی تخم کدو تحت تأثیر متغیرهای A, B, C, D و E حول نقطه مرکزی

خط B روند تأثیر تغییرات قطر چرخ‌دنده محور در واحد جداسازی پوسته را بر میزان تمیزی تخم کدو نشان می‌دهد. افزایش مقدار این پارامتر نیز از سطح یک تا نقطه مرکزی باعث افزایش میزان تمیزی شده و پس از آن تا سطح سوم باعث کاهش تمیزی تخم کدو می‌شود. بهترین مقدار پارامتر مذکور جهت افزایش درصد تمیزی تخم کدو حد وسط یا همان نقطه مرکزی متغیر می‌باشد. با کاهش سرعت محور واحد جداسازی، فرصت عبور تخم‌های کدو از سوراخ‌های غربال بیشتر شده و در نتیجه درصد تمیزی تخم کدو افزایش می‌یابد. نتایج مطالعه (Oloko & Agbetoy 2006) این روند را تأیید می‌کند. خط C که روند تأثیر تغییرات عرض لاستیک‌های ساینده را بر میزان تمیزی تخم کدو نشان می‌دهد؛ بیش‌ترین تغییرات را نسبت به بقیه پارامترها دارد که این مسئله بیان‌گر اثر بیش‌تر این متغیر بر درصد تمیزی تخم کدو است. تغییرات این پارامتر به‌صورت یک خط مستقیم است به‌طوری‌که با افزایش عرض لاستیک‌های ساینده درصد تمیزی تخم کدو کاهش پیدا می‌کند. در توضیح این مطلب می‌توان گفت با افزایش عرض لاستیک‌های ساینده، سطح تماس لاستیک‌ها با کدوی خرد شده بیش‌تر شده و در نتیجه ضایعات بیش‌تری را همراه با تخم کدو از سوراخ‌های غربال عبور می‌دهند که باعث افزایش درصد ناخالصی تخم کدو و به عبارت دیگر کاهش تمیزی تخم کدو می‌شود. Mohamed (2014) در ارزیابی دستگاه جداسازی تخم هندوانه، اثر فاصله

تغییر می‌کند؛ به طوری که بیش‌ترین درصد تمیزی تخم کدو، سه روز پس از برداشت حاصل می‌شود. همین‌طور با افزایش قطر چرخ‌دنده، درصد تمیزی نیز مانند یک منحنی درجه دو تغییر می‌کند با این تفاوت که شیب آن در مقادیر کم خود نسبتاً بیش‌تر است.

تأثیر متقابل زمان پس از برداشت و قطر چرخ‌دنده محور در واحد جداسازی پوسته بر درصد تمیزی تخم کدو در قسمت (ب) شکل (۶) نشان داده شده است. همان‌طور که در این شکل قابل مشاهده است، با افزایش زمان پس از برداشت میزان تمیزی تخم کدو خیلی کم و به‌صورت یک منحنی درجه دو



شکل ۶- اثر متقابل متغیرهای الف) قطر چرخ‌دنده و عرض لاستیک‌های ساینده، ب) زمان پس از برداشت و قطر چرخ‌دنده ج) عرض لاستیک‌های ساینده و نرخ تغذیه، د) قطر چرخ‌دنده و سرعت محور توان‌دهی و ه) سرعت محور توان‌دهی و عرض لاستیک‌های ساینده بر درصد تمیزی تخم کدو

قسمت (ج) چگونگی تأثیر پارامترهای عرض لاستیک‌های ساینده و نرخ تغذیه بر درصد تمیزی تخم کدو را نشان می‌دهد. طبق شکل، با افزایش عرض لاستیک‌های ساینده درصد تمیزی تخم کدو کاهش پیدا کرده که این کاهش، در مقادیر کم نرخ تغذیه نسبتاً بیش‌تر است.

اثر متقابل قطر چرخ‌دنده و سرعت محور توان‌دهی در قسمت (د) نشان داده شده است. با توجه به شکل مربوطه با افزایش قطر چرخ‌دنده که به منزله کاهش سرعت محور در واحد جداسازی پوسته است، میزان تمیزی افزایش پیدا می‌کند و این مقدار از یک نقطه به بعد با افزایش قطر کاهش پیدا می‌کند. اما با افزایش سرعت محور توان‌دهی درصد تمیزی تخم کدو به صورت یک خط راست افزایش پیدا می‌کند. همان‌طور که پیش‌تر گفته شد دلیل این‌که با افزایش قطر چرخ‌دنده در واحد جداسازی پوسته درصد تمیزی تخم کدو افزایش پیدا می‌کند، به علت این است که با افزایش قطر سرعت محور در واحد جداسازی پوسته کاهش پیدا کرده و پوسته کدو کم‌تر خرد شده و ضایعات کم‌تری وارد مرحله بعدی می‌گردد و این درحالی‌که سرعت محورهای واحد تمیزسازی هیچ‌کاهشی پیدا نکرده و عمل تمیزسازی به حالت عادی خود صورت می‌گیرد، که در نتیجه آن درصد تمیزی تخم کدو افزایش پیدا می‌کند. اما در (رابطه ۶)

مورد تغییر سرعت محور توان‌دهی، سرعت در همه واحدها تغییر پیدا می‌کند که با افزایش آن درصد تمیزی نیز افزایش پیدا می‌کند. قسمت (ه) اثر متقابل عرض لاستیک‌های ساینده و سرعت محور توان‌دهی را بر درصد تمیزی تخم کدو نشان می‌دهد. با توجه به شکل مربوطه می‌توان چنین بیان کرد که با افزایش سرعت محور توان‌دهی درصد تمیزی تخم کدو افزایش پیدا می‌کند که شیب این تغییرات در مقادیر کم عرض لاستیک‌های ساینده بیش‌تر است و هم‌چنین با افزایش عرض لاستیک‌های ساینده درصد تمیزی تخم کدو کاهش پیدا می‌کند که این مقدار این تغییرات در مقادیر زیاد سرعت محور توان‌دهی بیش‌تر است. دلیل این مسئله می‌تواند چنین بیان شود که با افزایش عرض لاستیک‌های ساینده مسیر حرکت ضایعات در الک تنگ شده و هم‌زمان با آن، کم کردن سرعت محور توان‌دهی باعث کمتر خرد شدن کدو که در نتیجه آن محصول خرد شده در داخل الک انباشته شده و باعث خروج بیشتر ضایعات به همراه تخم کدو در خروجی واحد می‌گردد.

با استفاده از نتایج به‌دست آمده از آزمایش‌ها، مدل (۶) برای محاسبه مقدار درصد تمیزی تخم کدو با توجه به پارامترهای مؤثر در کار دستگاه جداسازی تخم کدو آجیلی، ارائه شد.

$$\text{Cleanliness} = 16.37984 + 0.53729 A + 7.00656 B - 2.50722 C - 0.12229 D + 0.027607 E + 0.13676 BC + 0.015070 CD + 0.001252 CE - 0.10205 A^2 - 0.18836 B^2 - 0.000126 BCE + 0.000039 BDE - 0.000003 BCDE$$

تخم کدوی آجیلی می‌باشد، از بهینه‌سازی چندهدفه و به‌طور هم‌زمان براساس توابع مطلوبیت استفاده شد. تابع مطلوبیت، محدوده رضایت برای هر پاسخ را مشخص می‌کند (Myers & Montgomery, 1995). در بهینه‌سازی براساس تابع مطلوبیت، برای هر متغیر مستقل و هر پاسخ می‌توان هدفی تعیین کرد. اهدافی که در فهرست نرم‌افزار Design Expert وجود دارد شامل موارد: بیشینه، کمینه، عدد مورد نظر، محدوده مشخص و گزینه هیچ‌کدام می‌باشد. در این نرم‌افزار گزینه دیگری هم تحت عنوان درجه اهمیت یا اهمیت وزنی دارد که مقادیر آن از ۱ تا ۵ متغیر است و می‌توان برای پاسخ‌ها که مهم‌تر است درجه اهمیت بالاتری لحاظ کرد. پس از تعیین اهداف برای هر متغیر مستقل و پاسخ، نرم‌افزار، ترکیب‌های پیشنهادی از سطوح متغیرها را همراه با میزان مطلوبیت هر ترکیب ارائه می‌کند. طبق نتایج به‌دست آمده از فرآیند بهینه‌سازی، ترکیب متغیرهای مستقل شامل: زمان پس از برداشت، قطر چرخ‌دنده، عرض لاستیک‌های ساینده، نرخ تغذیه و سرعت محور توان‌دهی

که در آن: Cleanliness = میزان تمیزی تخم کدو (بر حسب درصد)، A = فاصله استراحت پس از برداشت (تعداد روز)، B = قطر چرخ‌دنده (بر حسب میلی‌متر)، C = عرض لاستیک‌های ساینده (بر حسب سانتی‌متر)، D = نرخ تغذیه (بر حسب تن در ساعت)، E = سرعت محور توان‌دهی (بر حسب دور در دقیقه) می‌باشد.

آزمون تطبیق مقادیر حقیقی اندازه‌گیری شده درصد تمیزی تخم کدو از آزمایش‌ها در مقابل مقادیر پیش‌بینی شده توسط این مدل نشان داده شده است. نتایج بیان‌کننده آن است که مدل (۶) می‌تواند درصد تمیزی تخم کدو را در محدوده مشخص شده برای متغیرهای مستقل، با ضریب تبیین ۰/۸۵۶۵ تخمین بزند.

بهینه‌سازی فرآیند جداسازی تخم کدو به کمک روش سطح پاسخ

از آن‌جا که هدف تحقیق حاضر بهینه‌سازی درصد افت تخم کدو و درصد تمیزی تخم کدوهای کدو در ماشین جداسازی

درصد افت تخم کدو و $0/۸۵۶۵$ برای درصد تمیزی تخم کدو، قادر به پیش‌بینی مقادیر خروجی با استفاده از مقادیر ورودی داده شده می‌باشند. پس از بهینه‌سازی فرآیند استخراج تخم کدو، مقادیر بهینه برای متغیرهای زمان پس از برداشت، قطر چرخ‌دنده، عرض لاستیک‌های ساینده، نرخ تغذیه و سرعت محور توان‌دهی به ترتیب برابر با ۳ روز، ۱۸۴ میلی‌متر، $۱۲/۹$ سانتی‌متر، $۱۸/۳۳۷$ تن در ساعت و ۴۵۰ دور در دقیقه به‌دست آمد. مقادیر متغیرهای پاسخ پس از بهینه‌سازی فرآیند، برای درصد افت تخم کدو $۱/۲۸$ درصد و برای درصد تمیزی تخم کدو ۹۱ درصد حاصل شد. در نهایت برای بهبود عملکرد دستگاه، با توجه به تفاوت بین ارقام کشت شده کدو در مناطق مختلف و متفاوت بودن خصوصیات فیزیکی تخم کدوهای آن‌ها، توصیه می‌شود از الگ‌های متناسب با ارقام کشت شده در هر منطقه استفاده شود. همچنین با توجه به عدم وجود استاندارد مشخص در مورد ابعاد و نحوه ساخت قطعات استفاده شده در دستگاه و استفاده از جوش برای اتصالات، دسترسی به بعضی قسمت‌ها مانند لاستیک‌های ساینده داخل الک جداسازی گویشته به سختی میسر می‌شود. این امر سبب افزایش هزینه‌های تعمیر و نگهداری می‌شود؛ لذا تدوین استانداردهای مرتبط با این دستگاه ضروری به نظر می‌رسد.

REFERENCES

- Abd EL-Hameed, E.M.A. (1994). Studying concave drum factors and operation locally manufactured thresher and their effect on thresher and their effect on threshing efficiency. M.Sc. Thesis in Agricultural Engineering, Faculty of Agricultural, Ain-Shames University.
- Abdrabo, A.F.A. (2014). Manufactured prototype to separate the seeds of watermelon pulp, *Egyptian Journal of Agricultural Research*, 92(1), 237-255.
- Abou-Elmagd, A.E., El-Mageed, A.M.A. & Sayed-Ahmed, I.F. (2006). Proper design and evaluation of an equipment for extracting watermelon seeds, *Journal of Agricultural Science of Mansoura University*, 31(7), 53-68.
- Agbetoye, L., Owoyemi, G.O. & Oloko, S. (2013). Design modification and performance evaluation of a melon (*Citrullus lanatus*) depodding machine, *Journal Research Paper Engineering*, 2(7), 61-65.
- AL-Gaadi, K.A., Marey, S.A. & Sayed-Ahmad, I.F. (2011). Development and performance evaluation of a summer squash seed extracting machine, *Middle-East Journal of Scientific Research*, 7(3), 352-361.
- Anonymous. (2014 a). The FAOSTAT database. <http://faostat.fao.org>.

به ترتیب برابر با ۳ روز، ۱۸۴ میلی‌متر، $۱۲/۹$ سانتی‌متر، $۱۸/۳۳$ تن در ساعت و ۴۵۰ دور در دقیقه برای شرایط کاری دستگاه انتخاب شده است. مقدار درصد افت تخم کدو به ازای مقادیر بهینه متغیرهای ورودی انتخاب شده برابر با $۱/۲۸$ و مقدار درصد تمیزی تخم کدو ۹۱ با میزان مطلوبیت $0/۹۸۲$ محاسبه شد.

نتیجه گیری کلی

با توجه به تجزیه و تحلیل داده‌ها و همین‌طور مدل‌سازی و بهینه‌سازی دستگاه جداکننده تخم کدو، روش سطح پاسخ به‌دلیل کاهش تعداد آزمایش‌ها روش بسیار مناسبی جهت مدل‌سازی و بهینه‌سازی دستگاه مذکور بود. نتایج نشان داد پارامترهای قطر چرخ‌دنده محور در واحد جداکننده پوسته، عرض لاستیک‌های ساینده و سرعت دورانی محور توان‌دهی در سطح احتمال ۱٪ و نرخ تغذیه در سطح احتمال ۵٪ بر متغیرهای درصد افت تخم کدو و درصد تمیزی تخم کدو اثر معنی‌داری داشتند. تأثیر فاصله استراحت پس از برداشت بر درصد افت تخم کدو در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار بود اما بر درصد تمیزی تخم کدو اثر معنی‌داری نداشت. رابطه بین متغیرهای پاسخ و مستقل آزمایش به‌صورت مدل‌های رگرسیونی درجه دوم ارائه شد. این مدل‌ها با ضرایب تبیین $0/۹۸۶۶$ برای

- Anonymous. (2014 b). General census report of agricultural section in Iran. Statistical Centre of Iran. <http://amar.org.ir>. (In Farsi)
- Aslan, N. (2007). Application of response surface methodology and central composite rotatable design for modeling the influence of some operating variables of a multi-gravity separator for chromite concentration, *Powder Technology*, 86, 769-776.
- Aviara, N.A., Shittu, S.K. & Haque, M.A. (2008). Development and performance evaluation of a guna seed extractor. *Agricultural Engineering International: CIGR Journal*, 8, 1-20
- Bas, D. & Boyac, I. (2007). Modeling and optimization II: Comparison of estimation capabilities of response surface methodology with artificial neural networks in a biochemical reaction, *Journal of Food Engineering*, 78, 846-854.
- Box, G.E.P. & Draper, N.R. (2007). Response Surfaces, Mixtures and Ridge Analyses. John Wiley and Sons, New York, 857 P.
- Chayjan, R. A. & Fealekari, M. (2014). Optimization of convective drying process for persian shallot using response surface method (RSM), *Agricultural Engineering International: CIGR Journal*, 16(2), 157-166.
- EL-Desoukey, N.M. (2008). Cleaning unit development of extracting machine for watermelon seeds,

- Journal of Agriculture and Environmental Sciences*, 7(1), 74-95.
- Hashemi, A. & Razzaghzadeh, S. (2007). Investigation on the possibility of ensiling cucurbit (cucurbita pepo) residues and determination of best silage formula, *Journal of Animal and Veterinary Advances*, 6(12), 1450-1452.
- Kathleen, M., Carley, N., Kamneva, Y. & Reminga, J. (2004). Response surface methodology. CASOS Technical Report. CMU-ISRI-04, P. 136.
- Khuri, A. & Mukhopadhyay, S. (2010). Response surface methodology. WIREs Computational Statistics. 2: 128-149.
- Lenth, R.V. (2010). Response-surface methods in R, using rsm, *Journal of Statistical Software*, 32(7), 1-17.
- Mohamed, S.F.A. (2014). Development and evaluation of a local industrial machine for watermelon seeds extraction, *Journal of Soil Sciences and Agricultural Engineering*, 5(10), 1405-1426.
- Montgomery, D.C. (2008). Design and analysis of experiments, 8th edn. John Wiley and Sons, Inc., Hoboken, NJ. 725 P.
- Myers, R. H. & Montgomery, D. C. 1995. Response surface methodology process and product optimization using designed experiments, John Wiley and Sons, New York, U.S.A, P. 714.
- Oloko, S. & Agbetoye, L. (2006). Development and performance evaluation of a melon depodding machine, *Agricultural Engineering International: CIGR Journal*, 8(1), 1-10.
- Prohens, T. & Nuez, F. (2008). Vegetables I: Asteraceae, Brassicaceae, Chenopodiaceae and Cucurbitaceae, Springer Science and Business Media, Pp. 318-380.
- Raymond, H., Myers, D., Montgomery, D.C. & anderson-Cook, C. (2009). Response surface methodology, process and product optimization using designed experiments. Third Edition. John Wiley and Sons, Inc. U.S.A, 856 P.
- Tayel, S.A., EL-Nakib, A.A., Khairy, M.F.A., Kamel, O.M. & Desouky, D.M. (2010). Factors affecting cucurbita pepo crop seed losses and damage by using a seed extracting machine prototype. *Misr Journal Agricultural Engineering*, 27(3), 824-837.
- Wu, C.F.J. & Hamada, M. (2000). Experiments: planning, analysis, and parameter design optimization. Jhon Wiley and Sons. Inc., Singapore, 760 P.