

## ارزیابی مزرعه‌ای موز غلتکی شیاردار برای کشت ذرت

علی رنجبر کریم آبادی<sup>۱</sup>، سید حسین کارپورفرد<sup>۲\*</sup>، هادی عظیمی نژادیان<sup>۳</sup> و حسین رحمانیان کوشکی<sup>۴</sup>

### چکیده

در تحقیق حاضر به منظور ارتقاء کیفیت کاشت ردیف‌کار ذرت، اقدام به ساخت و ارزیابی مزرعه‌ای موز غلتکی شیاردار جدیدی شد. پس از ساخت و نصب قطعات موز، ردیف‌کار در مزرعه مورد آزمون قرار گرفت. ردیف‌کار مورد نظر مجهز به دو واحد کارنده، که یک واحد آن مجهز به موز نیوماتیک به عنوان واحد شاهد و واحد دیگر مجهز به موز غلتکی شیاردار جدید بود. آزمایش‌ها در قالب طرح بلوک کامل تصادفی با تیمارهای سرعت پیش‌روی در سه سطح ۳، ۴ و ۵ کیلومتر بر ساعت، زاویه شیار موز در سه سطح زاویه ۲۳، ۲۵ و ۲۷ درجه و در ۳ تکرار انجام شد. صفتهای محاسبه شده در این تحقیق شامل شاخص نکاشت، شاخص چندکاشتی، شاخص دقت، شاخص کیفیت تغذیه و ضریب تغییرات بودند که برای هر دو واحد کارنده اندازه‌گیری و مقایسه شدند. نتایج نشان داد موز غلتکی شیاردار به خوبی توانسته شاخص نکاشت را بهبود ببخشد به طوری که هنگام استفاده از این موز در مقایسه با موز پنوماتیکی، شاخص نکاشت ۲۶/۲۸ درصد کاهش داشت. با این حال اختلاف بین مقادیر اندازه‌گیری شده برای سایر صفتهای در سطح احتمال ۵ درصد برای دو موز آزمایش شده معنی‌دار نبود. در نهایت مقدار بهینه زاویه شیار موز غلتکی جدید با استفاده از روش رگرسیون چند متغیره برابر ۲۵ درجه تعیین شد. همچنین در این مطالعه مدلی با ضریب تبیین ۰/۹۴ نیز برای پیش‌بینی دبی خروجی موز بر اساس زاویه شیارهای موز و سرعت زاویه‌ای محور تغذیه موز ارائه شد. خطای پیش‌بینی مدل در محدوده  $\pm 12\%$  درصد و جذر میانگین مربعات خطای مدل ۱۴۰ میلی‌متر مکعب بر دقیقه به‌دست آمد.

**واژه‌های کلیدی:** ردیف‌کار ذرت، موز غلتکی شیاردار، شاخص نکاشت

ارجاع: رنجبر کریم آبادی ع. کارپورفرد س. ح. عظیمی نژادیان ه. و رحمانیان کوشکی ح. ۱۴۰۲. ارزیابی مزرعه‌ای موز غلتکی شیاردار برای کشت ذرت. نشریه پژوهش‌های مکانیک ماشین‌های کشاورزی. ۲۶: ۵۷-۶۷. <https://dx.doi.org/10.22034/JRMAM.2023.13813.583>

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز.

۲- استاد گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز.

۳- عضو هیئت علمی گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه چهرم.

۴- استادیار گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه چهرم.

\* نویسنده مسئول: [karparvr@shirazu.ac.ir](mailto:karparvr@shirazu.ac.ir)

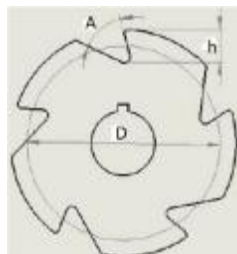
تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۰/۲۹ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۶/۲۹

## مقدمه

باتوجه به روند رو به رشد جمعیت و همچنین نیاز غذایی بیشتر، همه امیدها به بخش کشاورزی و افزایش تولید محصولات کشاورزی است. در بین محصولات کشاورزی ذرت اهمیت زیادی در تأمین غذای انسان، دام، طیور و مصارف صنعتی و دارویی دارد (Dolati & Karparvarfard, 2006). بنابراین، ضرورت بررسی راهکارهایی برای کاشت دقیق‌تر این محصول به منظور دستیابی به عملکرد بهتر و صرفه‌جویی در هزینه و زمان تولید بیشتر احساس می‌شود. کشت دقیق باعث کاهش بذر مورد نیاز و یکنواختی رشد و نمو بوته‌ها می‌شود (Taylor & Allinson, 1983). مهم‌ترین روش کاشت دقیق ذرت استفاده از ردیف‌کارهای تک‌دانه‌کار است. در این روش فاصله بین بوته‌های روی ردیف و همچنین فاصله ردیف‌ها قابل تنظیم است. برای به دست آوردن حداکثر عملکرد محصول در کشت‌های ردیفی، تأمین فاصله مناسب بذرها در خاک ضروری است. آزمایش‌هایی که در زمینه یکنواختی فاصله بین بذرها روی عملکرد محصول ذرت انجام گرفته، نشان داده است که با کاهش پراکندگی فواصل بین بذرها، عملکرد محصول ۵/۵ درصد افزایش می‌یابد (Cerrudo, 2010). پژوهشی به منظور تعیین مقادیر بهینه پارامترهای مؤثر بر عملکرد یک موز صفحه‌ای نیوماتیک انجام شد که در آن فشار خلاء، سرعت محیطی صفحه بذر و قطر سوراخ‌های بذر به عنوان متغیرهای مستقل و شاخص‌های نکاشت، چندکاشتی و ضریب تغییرات به عنوان متغیرهای وابسته مورد مطالعه قرار گرفتند. در نهایت مقادیر بهینه خلاء، سرعت محیطی صفحه بذر و قطر سوراخ بذر به ترتیب ۵ کیلو پاسکال، ۰/۱۲ متر بر ثانیه و ۳ میلی‌متر به دست آمد (Yazgi & Degirmencioglu, 2007). در تحقیقی به منظور ارزیابی عملکرد یک موز، شاخص‌های چندکاشتی، کیفیت تغذیه، نکاشت و یکنواختی فضای بذر با کمک روش پردازش تصویر اندازه‌گیری شد. برای اعتبارسنجی نتایج حاصل از روش پردازش تصویر، از تسمه آغشته به گریس در زیر لوله سقوط استفاده شد. آزمایش‌ها در قالب طرح فاکتوریل با دو نوع موز و چهار سطح سرعت دورانی محور موز در سه تکرار انجام شد (Navid et al., 2011). پژوهشی به منظور ارزیابی تأثیر سرعت حرکت ردیف‌کار ذرت و تنظیمات نیروی فشار دهنده بذر بر فاصله و عمق

بذر و همچنین ارزیابی رابطه سرعت کاشت با ارتعاش واحد کارنده انجام شد. نتایج نشان داد فشار عمودی روی بذر هیچ اثر معنی‌داری روی فاصله افقی بین بذرها ندارد. تنوع بیشتری در فاصله بین بذرها در سرعت‌های بالا مشاهده شد. عمق کاشت بهینه نیز با نیروی رو به پایین زیاد و سرعت پایین‌تر به دست آمد (Badua et al., 2021). در تحقیقی اثر ارتفاع ریزش بذر و سرعت پیشروی تراکتور در یک تک بذرکار روی میانگین زمان جوانه زنی، شاخص سرعت جوانه زنی و درصد ظهور بوته‌های انجام شد. نتایج مطالعه نشان داد که ارتفاع ریزش بذر با احتمال ۹۵ درصد اثر معنی‌داری بر میانگین زمان جوانه زنی، شاخص سرعت جوانه زنی و درصد ظهور بوته‌ها دارد (Emrah & Yildirim, 2020). برای کشت مکانیزه ذرت معمولاً از ردیف‌کارهای نیوماتیک استفاده می‌شود. از جمله مشکلات استفاده از این کارنده‌ها می‌توان به فرسایش سریع صفحه بذر که موجب افزایش شاخص نکاشت در زمان کاشت محصول، هزینه زیاد تعویض صفحه بذر مستهلک و نیاز به کشت مجدد بذر در فواصل خالی بین بوته‌ها اشاره کرد (Balanian et al., 2019). در همین راستا پژوهشی توسط Balanian et al. (2019) به منظور ارائه طرح موز غلتکی شیاردار جدید انجام شد. شاخص‌های چندکاشتی، کیفیت تغذیه، نکاشت، دقت و میزان بذور آسیب دیده جهت ارزیابی موز غلتکی شیاردار در آزمایشگاه اندازه‌گیری شدند. نتایج نشان داد که این موز نتایج قابل قبولی را بدست می‌دهد و در نهایت بهترین سرعت دورانی موز و تعداد بهینه شیارهای آن تعیین شد. در تحقیقی دیگر مقدار بهینه زاویه دهانه شیار این موز و همچنین سرعت پیشروی بهینه کارنده هنگام استفاده از این موز به دست آمد (Balanian & Karparvarfard, 2020). همچنین تحقیقی به منظور توسعه مدلی برای پیش‌بینی دبی خروجی بذر از این موز بر پایه تعداد شیار، زاویه دهانه شیار و سرعت دورانی موز با استفاده از روش‌های سطح پاسخ و تحلیل ابعادی ارائه شد. به منظور اعتبارسنجی مدل‌های توسعه داده شده، نتایج حاصل از این دو مدل با نتایج به دست آمده در آزمایشگاه مقایسه شدند (Balanian et al., 2021). در ادامه روند توسعه این موز، هدف از این پژوهش ارزیابی موز غلتکی شیاردار جدید در مزرعه و مقایسه عملکرد موز مورد نظر با موز

غلطکی ثابت و به ترتیب برابر ۶۰ و ۱۰ میلی‌متر در نظر گرفته شدند. اما اثر زاویه دهانه شیار بر عملکرد موزع در سه سطح ۲۳، ۲۵ و ۲۷ درجه بررسی شد. سایر عوامل این موزع و جزئیات طراحی آن به طور کامل توسط Balanian et al. (2019) توضیح داده شده است.



شکل ۲- متغیرهای مربوط به طراحی موزع غلٹکی شیاردار جدید

#### واحد کارنده شاهد

به منظور بررسی بهتر عملکرد موزع جدید و ایجاد امکان مقایسه با موزع‌های متداول، یکی از واحدهای کشت دستگاه به همان شکل مرسوم استفاده شد. این واحد مجهز به یک موزع نیوماتیک (ساخت شرکت تراشکده، ایران) بود (شکل ۳). مشخصات صفحه موزع به کار گرفته شده در این واحد کارنده در جدول ۱ ارائه شده است.



شکل ۳- موزع پنیوماتیک و صفحه موزع آن (Mondani & Karparvarfard, 2016)

نیوماتیک مرسوم و معرفی شرایط بهینه کاری دستگاه با استفاده از رگرسبون خطی چند متغیره است. همچنین در نهایت مدلی به منظور پیش‌بینی دبی خروجی موزع در مزرعه بر اساس شرایط کاری و عوامل طراحی موزع ارائه می‌شود.

#### مواد و روش‌ها

##### مشخصات ردیف‌کار

ردیف‌کار مورد استفاده در پژوهش حاضر مجهز به دو واحد کارنده بود که یک واحد به موزع غلٹکی شیاردار و دیگری به عنوان واحد شاهد به منظور ایجاد امکان مقایسه عملکرد موزع جدید با موزع نیوماتیکی مرسوم تجهیز شد (شکل ۱). واحد کارنده دستگاه از قطعات مختلفی تشکیل شده و با توجه به تغییر یکی از واحدها به واحد کشت مجهز به موزع جدید، نیاز بود تغییراتی در برخی قسمت‌های آن ایجاد شود. این تغییرات پس از طراحی و ساخت به دستگاه اضافه گردید.



شکل ۱- ردیف‌کار مورد استفاده در پژوهش

##### واحد کارنده مجهز به موزع غلٹکی شیاردار

در طراحی موزع غلٹکی شیاردار، قطر موزع (D)، زاویه دهانه شیار (A)، تعداد شیار و عمق شیار (h) از جمله عوامل طراحی موزع هستند (شکل ۲). سرعت دورانی محور تغذیه به عنوان متغیر مربوط به شرایط کاری موزع در نظر گرفته می‌شود. قطر موزع و عمق شیار موزع

جدول ۱- مشخصات صفحه موزع ذرت مورد استفاده در این پژوهش

شرکت سازنده	قطر سوراخ‌های صفحه (میلی‌متر)	تعداد سوراخ‌های صفحه	جنس صفحه	ضخامت صفحه (میلی‌متر)
تراشکده (ایران، کرج)	۴/۵	۳۶	فولاد ضد زنگ	۲

#### بذر مورد استفاده

بذر مورد استفاده در این پژوهش، ذرت سینگل کراس ۷۰۴ تولید منطقه مغان بود که از متداول‌ترین بذرهای ذرت مورد استفاده در کشور است. برای اندازه‌گیری قوه

نامیه بذر مورد استفاده، ۴ عدد ظرف پتری ضد عفونی شده انتخاب شد و در هر کدام بعد از گذاشتن کاغذ و ریختن ۱۰ سی‌سی آب مقطر، ۲۵ عدد بذر قرار گرفت. پتری‌ها درون دستگاه انکوباتور با دمای ۲۵ درجه

کارخانه تراکتور سازی تبریز، ایران) استفاده شد. آزمایش‌ها در سه سطح سرعت پیشروی (۳، ۴ و ۵ کیلومتر بر ساعت) با تنظیم دنده‌های تراکتور و اهرم گاز دستی و ۳ سطح زاویه شیار موزع (۲۳، ۲۵ و ۲۷ درجه) در قالب طرح بلوک کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد. ابتدا بدون نصب پوشاننده‌ها و چرخ فشار یک بار کشت انجام شد و فاصله بین بذرها به کمک کولیس و در مسافتی به طول ۵ متر به صورت تصادفی در هر کرت اندازه‌گیری شد. لازم به ذکر است که ابتدا و انتهای هر کرت ۲ متر جهت تثبیت شرایط کاری دستگاه و از بین بردن اثر حاشیه کرت در نظر گرفته شد. همچنین شاخص‌های نکاشت، چند کاشتی، کیفیت تغذیه، دقت و شاخص ضریب تغییرات فاصله بین بذرها محاسبه شدند. روش اندازه‌گیری هر یک از شاخص‌ها در ادامه شرح داده شده است (Balanian et al., 2019).

### شاخص نکاشت<sup>۱</sup> (M)

شاخص نکاشت صفتی است که خلاء بین فاصله‌ها را بیان می‌کند. بهبود این صفت از دلایل اصلی انجام این پژوهش بود چون در موزع‌های نیوماتیک در اثر ساییدگی صفحه بذر خلاء پشت صفحه از بین می‌رود و درصد نکاشت افزایش پیدا می‌کند. نتیجه این افزایش، باعث می‌شود در بعضی موارد کشاورز مجبور شود به صورت دستی به کاشت بذر در فواصل بدون بوته اقدام نماید. این شاخص نشان می‌دهد چند درصد فاصله بین بذرها بیش از ۱/۵ برابر فاصله تئوری است. این شاخص به کمک معادله (۱) محاسبه می‌شود (Balanian et al., 2019).

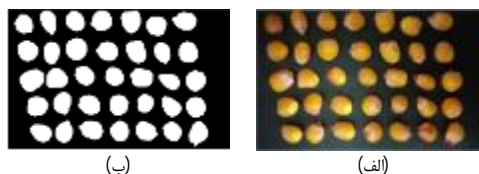
$$M = \frac{n_1}{N} \times 100 \quad (1)$$

در معادله بالا M شاخص نکاشت (%)، N تعداد کل فواصل اندازه‌گیری شده و  $n_1$  تعداد فواصل کاشتی است که در محدوده ۱/۵ تا بی‌نهایت برابر فاصله تئوری قرار دارند.

### شاخص چندکاشتی<sup>۲</sup> (D)

وجود چند کاشتی باعث افزایش میزان بذر مورد استفاده و کاهش فاصله بین بوته‌ها می‌شود. از طرفی کاهش فاصله‌ها خصوصا در زمان کشت ذرت شیرین که فاصله بین بذرها زیاد است می‌تواند باعث کاهش عملکرد

سلسیوس قرار داده شدند و تا روز هفتم مورد پایش قرار گرفتند. در نهایت در روز هفتم تعداد بذرهای جوانه زده شمارش و میانگین درصد بذرهای جوانه زده به عنوان درصد جوانه زده یا قوه نامیه بذر مورد استفاده گزارش شد. از آنجا که اندازه بذر در جوانه زنی و رشد بوته اثر دارد، اندازه بذرهای نیز اندازه‌گیری شد. تعداد ۳۵۰ بذر به صورت تصادفی انتخاب و در قالب ۱۰ سینی دسته‌بندی گردید (شکل ۴). سپس به کمک پردازش تصویر اقدام به اندازه‌گیری میانگین اندازه بذر و ضریب تغییرات اندازه آن‌ها شد. پس از تهیه هر عکس، نحوه قرارگیری بذرهای موجود در هر سینی تغییر داده و مجدد از هر سینی تصویر تهیه و مقادیر اندازه بذر و ضریب تغییرات مجدد اندازه‌گیری شد. این روند تا تکرار ۲۱ ادامه پیدا کرد، به طوری که ضریب تغییرات اندازه بذر ثابت گردید. خصوصیات بذر ذرت مورد استفاده در جدول ۲ نشان داده شده است.



شکل ۴- الف) تصویر واقعی سینی بذر، ب) تبدیل عکس رنگی به عکس باینری

جدول ۲- مشخصات بذر مورد استفاده.

مقدار	خصوصیات
۸۳	قوه نامیه (%)
۹۸	خلوص بذر (%)
۲۸۷	وزن هزار دانه (گرم)
گرد	شکل بذر
۶/۱۹	میانگین اندازه بذر (میلی‌متر)
۱/۷۳۹	ضریب تغییرات اندازه بذر

### آزمایش‌های مزرعه‌ای

آزمایش‌ها در قطعه شماره ۲۲ دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز (با طول جغرافیایی ۵۲ درجه و ۴۶ دقیقه و عرض جغرافیایی ۲۹ درجه و ۵۰ دقیقه و ارتفاع ۱۸۱۰ متر از سطح دریا) انجام شد. خاک مزرعه شامل ۲۱ درصد شن، ۴۰ درصد سیلت و ۳۹ درصد رس و نوع بافت خاک، سیلتی‌رسی بود. برای انجام آزمایش‌های مزرعه‌ای از یک دستگاه تراکتور ITM-399 چهار چرخ محرک (ساخت

1- Miss planting index

2- Multiple planting index

در نهایت طول مسیر پیش‌روی و سرعت پیش‌روی محاسبه گردید.

### روش سطح پاسخ

روش سطح پاسخ رابطه بین متغیر وابسته یا پاسخ (R) و متغیرها یا عوامل مستقل ( $F_1, F_2, \dots, F_k$ ) را در قالب معادله ( $\Delta$ ) بررسی می‌کند (Shirazi et al., 2020).

$$R = f(F_1, F_2, \dots, F_k) + e \quad (\Delta)$$

در این معادله  $f$  تابع پاسخ بوده که در نهایت بهینه می‌شود و  $e$  خطا را نشان می‌دهد (Najafi et al., 2015). فرایند یافتن پارامترهای بهینه با استفاده از مازول  $\text{historical data design}$  در روش سطح پاسخ شامل سه مرحله تعریف متغیرهای مستقل و وابسته، تجزیه و تحلیل داده‌ها و بهینه‌سازی است (Pattanaik & Rayasam, 2018). در این پژوهش، متغیرهای وابسته و مستقل تعریف شدند و پس از انتخاب مدل‌های رگرسیونی پیشنهادی توسط نرم‌افزار، پردازش شدند و سپس روابط بین متغیرهای وابسته و مستقل تعیین و در نهایت فرآیند بهینه‌سازی برای هر پاسخ انجام شد. مازول بهینه‌سازی بر اساس مدل‌های آماری، مقادیر بهینه هر یک از متغیرهای وابسته را بر اساس مقادیر مطلوب هر یک از متغیرهای مستقل بدست می‌آورد. اهداف مطلوب هر یک از متغیرهای مستقل در جدول ۹ نشان داده شده است. در این مطالعه، از معیار تابع مطلوب بودن برای تعیین حالت بهینه استفاده شد. رویکرد تابع مطلوب بودن یکی از رایج‌ترین روش‌های بهینه‌سازی چند متغیر وابسته به صورت هم‌زمان است. مقدار این معیار بین ۰ تا ۱ قرار دارد و نشان دهنده نزدیک بودن پاسخ به مقدار ایده‌آل آن است. اگر پاسخی در فواصل غیرقابل قبول باشد، مطلوبیت صفر است و اگر پاسخی در بازه ایده‌آل باشد یا پاسخ به مقدار ایده‌آل خود برسد، مطلوب بودن ۱ است (Ardebili et al., 2019). نرم افزار Design Expert software (V.11, Stat-Ease Inc., Minneapolis, MN, USA) برای توسعه مدل رگرسیون و انجام تجزیه و تحلیل آماری مورد استفاده قرار گرفت.

### مدل پیش‌بینی دبی خروجی موزع

به منظور توسعه مدلی برای پیش‌بینی دبی خروجی موزع، اثر زاویه شیار موزع (A) در سه سطح (۲۳، ۲۵ و ۲۷ درجه) و سرعت دورانی محور موزع (n) در چهار سطح

محصول شود. درصد فواصل کمتر یا مساوی نصف فاصله تئوری به عنوان شاخص چندکاشتی مطرح می‌شود که با استفاده از معادله زیر محاسبه می‌شود (Balanian et al., 2019):

$$D = \frac{n_2}{N} \times 100 \quad (2)$$

در این معادله D شاخص چندکاشتی ( $n_2$ ، %) تعداد فواصل کاشتی که در محدوده صفر تا ۰/۵ برابر فاصله تئوری است.

### شاخص کیفیت تغذیه<sup>۱</sup> (A)

درصد فواصل کمتر از ۱/۵ و بیش از ۰/۵ برابر فاصله تئوری به عنوان شاخص کیفیت تغذیه (A) در نظر گرفته می‌شود (معادله (۳)) (Balanian et al., 2019).

$$A = \frac{n_3}{N} \times 100 \quad (3)$$

در این معادله  $n_3$  تعداد فواصل کاشتی که در محدوده ۰/۵ تا ۱/۵ برابر فاصله تئوری است.

### شاخص دقت (c)

با استفاده از این شاخص، فاصله بذرها در محدوده ۰/۵ تا ۱/۵ برابر فاصله تئوری مورد ارزیابی قرار می‌گیرد تا مشخص شود فاصله‌ها تا چه اندازه به فاصله تئوری نزدیک هستند. هرچه شاخص دقت کوچک‌تر باشد گواه آن است که دستگاه کارایی بهتری دارد. این شاخص از معادله (۴) محاسبه می‌گردد (Balanian et al., 2019).

$$C = \frac{S_2}{X_{ref}} \quad (4)$$

اینجا، C شاخص دقت (%)،  $X_{ref}$  فاصله کاشت تئوری و  $S_2$  انحراف معیار فواصلی است که در محدوده ۰/۵ تا ۱/۵ برابر فاصله تئوری قرار دارند.

### اندازه‌گیری سرعت پیش‌روی تراکتور در مزرعه

برای اندازه‌گیری سرعت پیش‌روی نیاز به چرخ پنجم بود که به خوبی مسیر پیش‌روی را دنبال کرده و دچار لغزش و پرش نشود. چرخ پنجم مجهز به فنر روی بدنه تراکتور و پشت اکسل جلو نصب شد. ثبت سرعت از چرخ پنجم به وسیله یک اینکودر (E50S8-500-3-T-1) ساخت شرکت Autonics کره جنوبی انجام شد. پالس خروجی از محور اینکودر به یک صفحه الکترونیکی منتقل شد، خروجی‌ها جمع‌آوری و عملیات داده پردازش روی آن‌ها انجام شده و

1- Feed index quality

است، شاخص نکاشت در هر سه زاویه و هر سه سرعت به نسبت موز نیوماتیک کاهش داشته و در سطح احتمال ۵ درصد این کاهش معنی‌دار شده است. دلیل این بهبود را می‌توان در شیوه کار موز غلتکی پیدا کرد. موز غلتکی در قسمت پایین محفظه بذر قرار می‌گیرد و بذر به کمک نیروی ثقل درون شیاردار می‌افتد. این در صورتی است که موز نیوماتیک به وسیله مکش، بذر را از پیاله بذر برداشته و درون لوله سقوط رها می‌کند. در این روش عملکرد موز نیوماتیک تحت تأثیر سلامت صفحه بذر، خلاء ایجاد شده پشت صفحه و همچنین شکل بذر قرار می‌گیرد. مقاومت موز غلتکی شیاردار به سایش و عدم تأثیر ساییدگی موز و شکل بذر بر عملکرد موز غلتکی شیاردار باعث کاهش شاخص نکاشت شد.

### شاخص چند کاشتی

نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد اثر زاویه شیاردار شاخص چند کاشتی در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار است (جدول ۴) و با افزایش زاویه موز، شاخص چند کاشتی افزایش پیدا می‌کند (شکل ۶). این اتفاق می‌تواند به این دلیل باشد که با افزایش زاویه شیاردار، چند بذر به صورت هم‌زمان درون شیاردار قرار گرفته و در بستر بذر سقوط می‌کند. هرچند طبق نتایج به دست آمده شاخص چند کاشتی تنها در دو زاویه ۲۵ و ۲۷ درجه افزایش یافته و در زاویه ۲۳ درجه تفاوت معنی‌داری با موز شاهد نداشته است، اما به نظر می‌رسد با تغییر در طراحی تک‌کن بذور محفظه موز در هر سه موز با زوایای ۲۳، ۲۵ و ۲۷ درجه این امکان وجود دارد که شاخص چند کاشتی اصلاح شود.

(۳۵، ۴۷، ۵۸ و ۷۲ دور بر دقیقه) روی دبی خروجی موز (Q) در مزرعه مورد آزمایش قرار گرفتند. بنابراین در مجموع ۱۲ حالت مختلف در مزرعه آزمایش شد و دبی خروجی موز در هر حالت اندازه‌گیری شد. در نهایت با استفاده از نرم‌افزار Design Expert و روش رگرسیون چند متغیره مدلی به منظور پیش‌بینی دبی خروجی موز بر اساس زاویه شیاردار موز و سرعت دورانی موز ارائه شد. برای ارزیابی مدل از روش اعتبارسنجی متقابل از نوع Leave-One-Out cross validation استفاده شد. اعتبارسنجی متقابل، تکیه بر داده‌هایی است که مشاهده شده‌اند ولی در هنگام ساختن مدل به کار گرفته نمی‌شوند. به عبارت دیگر از مجموعه داده‌های آموزشی یکی مشاهده خارج شده و براساس بقیه مشاهدات، عوامل برآورد می‌شوند. سپس میزان خطای مدل برای مشاهده خارج شده، محاسبه می‌شود. برآورد این خطا را معمولاً خطای خارج از نمونه می‌نامند.

### نتایج و بحث

در این بخش نتایج آزمایش‌های انجام شده تجزیه و تحلیل شده و بر اساس آن‌ها، عملکرد موز غلتکی جدید با موز نیوماتیک متداول در کارنده‌های ذرت مقایسه شد. در نهایت مقادیر بهینه زاویه شیاردار موز غلتکی و سرعت پیش‌روی به روش رگرسیون چند متغیره معرفی شد تا بتوان برای رسیدن به نتیجه مطلوب و رفع نواقص موجود اقدام کرد.

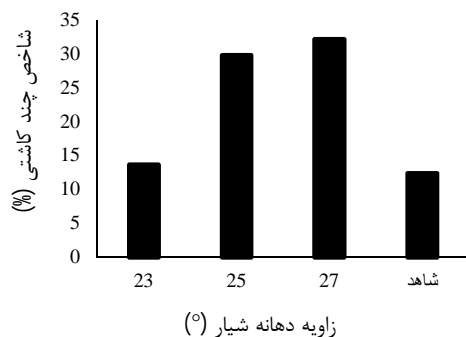
### شاخص نکاشت

نتایج حاصل از این آزمایش نشان داد موز غلتکی شیاردار به خوبی توانسته شاخص نکاشت را بهبود ببخشد و همان‌گونه که در جدول ۳ و شکل ۵ نشان داده شده

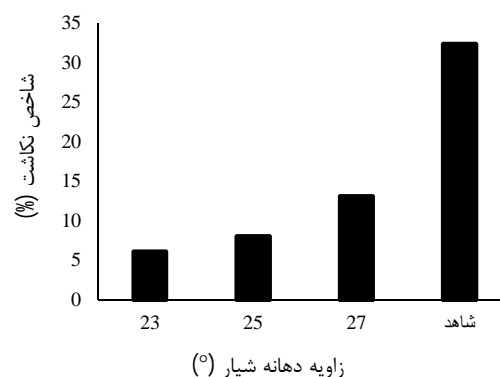
جدول ۳- تحلیل واریانس شاخص نکاشت

F	میانگین مربعات	مجموع مربعات	درجه آزادی	منبع تغییرات
۱۴/۱ <sup>ns</sup>	۷۴/۱۸	۱۴۸/۳۶	۲	بلوک
۲۰ <sup>**</sup>	۱۲۹۹/۵	۳۸۹۸/۵	۳	زاویه شیاردار
۰/۹۲ <sup>ns</sup>	۵۹/۶	۱۱۹/۲۱	۲	سرعت
۱/۱۸ <sup>ns</sup>	۷۶/۴۱۹	۴۵۸/۵۲	۶	زاویه شیاردار × سرعت
	۶۴/۹۷	۱۴۲۹/۳۵	۲۲	خطا
		۶۰۵۶/۹۶	۳۵	کل

\*\* معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد، <sup>ns</sup> عدم معنی‌داری



شکل ۶- تأثیر زاویه دهانه شیار بر شاخص چند کاشتی (میانگین‌های نمایش داده شده با حروف مشابه به معنی عدم معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد است).



شکل ۵- تأثیر زاویه دهانه شیار بر درصد نکاشت

جدول ۴- تحلیل واریانس شاخص چند کاشتی

F	میانگین مربعات	مجموع مربعات	درجه آزادی	منبع تغییرات
۰/۴۳ <sup>ns</sup>	۳۹/۹۸	۷۹/۹۵	۲	بلوک
۱/۰۳ <sup>*</sup>	۹۶/۴	۲۹۴۲/۷	۳	زاویه شیار
۱/۰۳ <sup>ns</sup>	۹۶/۴۳	۱۹۲/۸۶	۲	سرعت
۱/۲۷ <sup>ns</sup>	۱۱۸/۷	۷۱۲/۳۸	۶	زاویه شیار × سرعت
	۹۳/۵	۲۰۵۷/۱۲	۲۲	خطا
		۵۹۸۵	۳۵	کل

<sup>ns</sup> معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد، <sup>\*</sup> عدم معنی‌داری

#### شاخص دقت

با توجه به جدول ۶ و شکل ۸، در آزمایش انجام شده تفاوت معنی‌داری بین فاصله بذرها کاشته شده با موزع غلتکی شیاردار و موزع نیوماتیک مشاهده نشد. این نتایج بیانگر این موضوع بود که عملکرد موزع غلتکی شیاردار در این بخش هم عملکرد قابل قبولی بوده است.

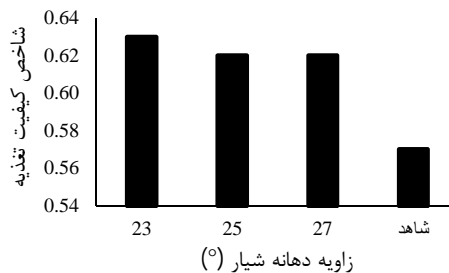
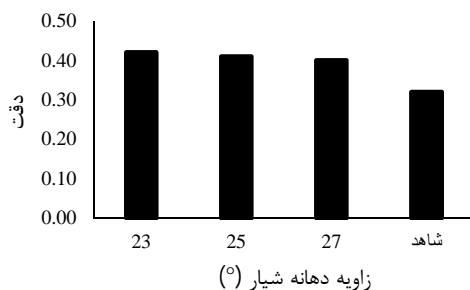
#### شاخص کیفیت تغذیه

طبق نتایج بدست آمده از این پژوهش همان‌گونه که در جدول ۵ و شکل ۷ نشان داده شده است، شاخص کیفیت تغذیه در هیچ یک از زاویه‌های شیار موزع و سطوح سرعت تفاوت معنی‌داری با موزع شاهد از خود نشان نداده است که این موضوع نشان می‌دهد که موزع غلتکی شیاردار عملکرد مناسبی در این خصوص داشته است.

جدول ۵- تحلیل واریانس شاخص کیفیت تغذیه

F	میانگین مربعات	مجموع مربعات	درجه آزادی	منبع تغییرات
۰/۱۱ <sup>ns</sup>	۰/۰۰۱	۰/۰۰۲	۲	بلوک
۰/۴۴ <sup>ns</sup>	۰/۰۰۶	۰/۰۱۸	۳	زاویه شیار
۱/۱۱ <sup>ns</sup>	۰/۰۱۵	۰/۰۳	۲	سرعت
۲/۰۹ <sup>ns</sup>	۰/۰۲۸	۰/۱۶۸	۶	زاویه شیار × سرعت
	۰/۰۱۳	۰/۲۹۸	۲۲	خطا
		۰/۵۱۴	۳۵	کل

<sup>ns</sup> عدم معنی‌داری



شکل ۷- تأثیر زاویه دهانه شیار بر شاخص کیفیت تغذیه

(میانگین‌های نمایش داده شده با حروف مشابه به معنی عدم معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد است.)

شکل ۸- تأثیر زاویه دهانه شیار بر شاخص دقت

(میانگین‌های نمایش داده شده با حروف مشابه به معنی عدم معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد است.)

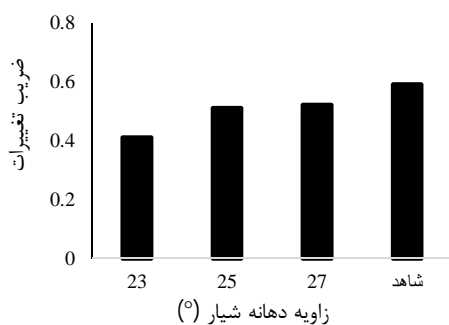
جدول ۶- تحلیل واریانس شاخص دقت

F	میانگین مربعات	مجموع مربعات	درجه آزادی	منبع تغییرات
۰/۱۳ <sup>ns</sup>	۰/۰۰۲	۰/۰۰۴	۲	بلوک
۰/۹۱ <sup>ns</sup>	۰/۰۱۸	۰/۰۵۳	۳	زاویه شیار
۰/۷۱ <sup>ns</sup>	۰/۰۱۴	۰/۰۲۸	۲	سرعت
۰/۸۹ <sup>ns</sup>	۰/۰۱۷	۰/۱۰۴	۶	زاویه شیار × سرعت
	۰/۰۱۹	۰/۴۲۸	۲۲	خطا
		۰/۶۱۹	۳۵	کل

<sup>ns</sup> عدم معنی‌داری

### مقدار بهینه زاویه شیار موزع

مقادیر بهینه متغیرهای مستقل و وابسته در جدول ۹ آورده شده است. بهترین زاویه شیار موزع با بیشترین ضریب مطلوب بودن (۰/۷۸) تقریباً برابر ۲۵ درجه به دست آمد.



شکل ۹- تأثیر زاویه دهانه شیار بر ضریب تغییرات

(میانگین‌های نمایش داده شده با حروف مشابه به معنی عدم معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد است.)

### ضریب تغییرات

نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد موزع غلتکی شیاردار در زاویه شیار ۲۳ درجه تفاوت معنی‌داری در سطح ۵ درصد با موزع شاهد داشته است. همچنین دو موزع با زاویه شیار ۲۵ و ۲۷ درجه اگرچه تفاوت معنی‌داری در عملکرد از خود نشان نداده‌اند اما مقادیر ضریب تغییرات آنها نسبت به موزع شاهد کمتر است، که نشان از عملکرد بهتر موزع غلتکی شیاردار نسبت به موزع شاهد بود. در زمان انجام آزمایش‌ها مشاهده شد بذور جدا شده توسط صفحه بذر نیوماتیک در زاویه و موقعیت یکسانی نسبت به لوله سقوط از صفحه جدا نمی‌شدند، این امر می‌تواند دلیل افزایش ضریب تغییرات فاصله بین بذرها باشد. از طرفی باید توجه داشت لوله سقوط مورد استفاده برای موزع غلتکی شیاردار طول بیشتری به نسبت لوله سقوط موزع نیوماتیک داشت که خود افزایش طول لوله سقوط باعث افزایش ضریب تغییرات می‌شود. با این وجود ضریب تغییرات موزع غلتکی شیاردار نسبت به موزع شاهد مقدار کمتری بود.



جدول ۷- تحلیل واریانس شاخص ضریب تغییرات

F	میانگین مربعات	مجموع مربعات	درجه آزادی	منبع تغییرات
. <sup>ns</sup>	۰/۰۰۰۰۴	/۰۰۰۰۹	۲	بلوک
۴/۱۲ <sup>*</sup>	۰/۰۴۸	۰/۱۴۶	۳	زاویه شیار
۰/۰۲ <sup>ns</sup>	۰/۰۰۰۲	۰/۰۰۰۴	۲	سرعت
۱/۹۳ <sup>ns</sup>	۰/۰۲۲	۰/۱۳۷	۶	زاویه شیار × سرعت
	۰/۰۱	۰/۰۲۶	۲۲	خطا
		۰/۵۴	۳۵	کل

\* معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد، <sup>ns</sup> عدم معنی‌داری

## مدل پیش‌بینی دبی خروجی موزع

در شکل ۱۰، درصد تغییرات هر یک از متغیرهای مستقل در مقابل دبی خروجی موزع رسم شده است. با توجه به شکل ۱۰، دبی خروجی موزع با زاویه دهانه شیار به صورت خطی افزایش می‌یابد. دلیل این افزایش را می‌توان با افزایش حجم داخلی شیار ایجاد شده در موزع به واسطه افزایش زاویه شیار توجیه کرد، به طوری که باعث می‌شود بذرها بیشتری از مخزن به لوله سقوط انتقال یابد. ارتباط بین دبی خروجی موزع و سرعت دورانی محور موزع را می‌توان با تابع درجه ۲ توصیف کرد. سهمی تابع ارتباط بین دبی خروجی بذرها و سرعت دورانی محور، رو به پایین است. بنابراین با افزایش سرعت دورانی تا نقطه بیشینه تابع، دبی خروجی افزایش می‌یابد و پس از آن روند کاهش پیدا می‌کند. با افزایش بیش از حد سرعت دورانی محور موزع، بذرها فرصت کافی برای قرار گرفتن در شیار غلتک موزع را ندارند که این امر باعث می‌شود بذرها کمتری توسط موزع از مخزن به لوله سقوط انتقال یابد. در نهایت

با شناخت ارتباط حاکم بین دبی خروجی موزع با هر یک از متغیرهای مستقل، مدل توسعه یافته به منظور پیش‌بینی دبی خروجی موزع بر اساس سرعت دورانی محور موزع و زاویه دهانه شیار ارائه شد (معادله (۶)).

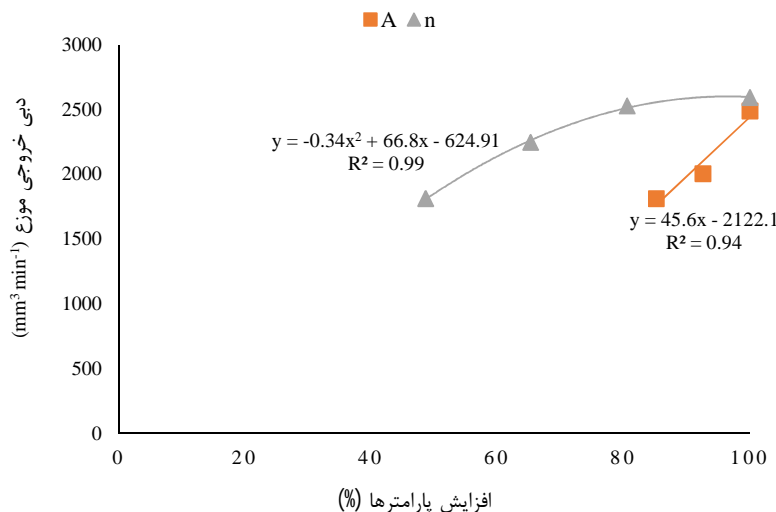
$$Q = 252.47 A + (-0.82 n^2 + 117.9 n) - 7338.94 \quad (6)$$

$$R_{adj}^2 = 0.92$$

شکل ۱۱ نتایج حاصل از آزمون مدل یا به عبارت دیگر ارتباط بین مقادیر پیش‌بینی شده توسط مدل و اندازه‌گیری شده در مزرعه را نشان می‌دهد. همان‌طور که از شکل پیداست ضریب تبیین بالایی ( $R^2 = ۰/۹۴$ ) بین داده‌ها وجود دارد که نشان می‌دهد مدل پیشنهاد شده به خوبی می‌تواند تغییرات دبی خروجی موزع نسبت به عوامل بررسی شده را پیش‌بینی کند. خطای پیش‌بینی مدل در بازه  $\pm ۱۲$  درصد و جذر میانگین مربعات خطای آن برابر ۱۴۰ میلی‌متر مکعب بر دقیقه بود.

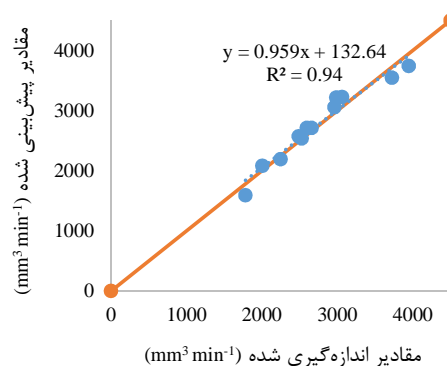
جدول ۹- مقادیر بهینه متغیرهای وابسته و مستقل

مقدار بهینه	مقدار بیشینه	مقدار کمینه	مطلوب	صفت
۹/۰۳	۳/۷۸	۲/۴۳	کمینه	شاخص نکاشت (%)
۲/۱۶	۵۰	۸	کمینه	شاخص چندکاشتی (%)
۰/۶۲	۰/۸۴	۰/۳۲	کمینه	شاخص کیفیت تغذیه (%)
۰/۴۸	۰/۶۱	۰/۲	کمینه	ضریب تغییرات
۰/۲۴	۰/۳۲	۰/۱۴	کمینه	شاخص دقت
۲/۸۵	۲۷	۲۳	در محدوده	زاویه دهانه شیار



شکل ۱۰- نتیجه تحلیل حساسیت دبی خروجی موز نسبت به زاویه شیاردار موز و سرعت دورانی محور تغذیه موز (A: زاویه دهانه شیاردار، n: سرعت زاویه‌ای محور تغذیه موز)

مطلوب بودن (۰/۷۸) به ترتیب برابر ۲۵ درجه و ۴ کیلومتر بر ساعت به دست آمد. همچنین مدلی با ضریب تبیین ۰/۹۴ برای پیش‌بینی دبی خروجی موز بر اساس زاویه شیاردار موز و سرعت دورانی محور تغذیه موز ارائه شد. خطای پیش‌بینی مدل در بازه ۱۲± درصد و جذر میانگین مربعات خطای آن برابر ۱۴۰ میلی‌متر مکعب بر دقیقه بود. با توجه به نتایج این تحقیق می‌توان نتیجه گرفت که موز غلتکی جدید قابلیت خوبی برای استفاده در دستگاه‌های کاشت ذرت دارد. بهبود شاخص‌هایی از جمله درصد نکاشت، کیفیت تغذیه، ضریب تغییرات و شاخص دقت و همچنین عملکرد خوب در سایر صفات شاخص گواهی این امر است. عدم نیاز به انتقال توان از محور توان‌دهی به دستگاه مجهز به موز غلتکی جدید منجر به کاهش استهلاک قطعات، کاهش خطرات ناشی از دوران گاردان و همچنین کاهش مصرف سوخت تراکتور می‌شود که این امر نیز از مزایای استفاده از این نوع موز است. در دستگاه ردیف کار مجهز به موز غلتکی شیاردار جدید نیازی با وجود فن مکشی نخواهد بود که موجب کاهش بادبردگی قارچ‌کش استفاده شده روی بذر شود. بادبردگی قارچ‌کش در ردیف‌کارهای مرسوم می‌تواند برای کشاورزانی که نزدیک به تراکتور هستند مضراتی به همراه داشته باشد.



شکل ۱۱- ارتباط بین دبی خروجی پیش‌بینی شده توسط مدل و اندازه‌گیری شده در مزرعه

### نتیجه‌گیری

در این پژوهش اثر سرعت و زاویه شیاردار موز جدید روی هر یک از شاخص‌های نکاشت، چندکاشتی، دقت کاشت و کیفیت تغذیه در مزرعه بررسی و نتایج حاصل با نتایج به دست آمده از آزمون موز نیوماتیک مرسوم مقایسه شدند. کارنده ذرت مجهز به موز غلتکی شیاردار عملکرد مطلوبی در همه صفات نسبت به موز نیوماتیکی مرسوم دارد. همچنین نتایج نشان داد سرعت پیش‌روی اثر معنی‌داری بر تغییرات هیچ‌کدام از صفات مورد بررسی نداشت. تنها تیمار زاویه شیاردار، تأثیر معنی‌داری را ایجاد کرد که در اکثر صفات عملکرد مطلوب‌تری نسبت به موز نیوماتیک داشت. در نهایت بهترین ترکیب از زاویه شیاردار موز و سرعت پیش‌روی با بیشترین ضریب

- Pattanaik, A., & Rayasam, V. (2018). Analysis of reverse cationic iron ore fines flotation using RSM-D-optimal design—An approach towards sustainability. *Advanced Powder Technology*, 29(12): 3404-3414.
- Shirazi, M., Khademalrasoul, A., & Ardebili, S. M. S. (2020). Multi-objective optimization of soil erosion parameters using response surface method (RSM) in the Emamzadeh watershed. *Acta Geophysica*, 1-13.
- Taylor, R., & Allinson, D. (1983). Legume Establishment in Grass Sods Using Minimum-Tillage Seeding Techniques without Herbicide Application: Forage Yield and Quality. *Agronomy Journal - AGRON J*, 75.
- Yazgi, A., & Degirmencioglu, A. (2007). Optimization of the seed spacing uniformity performance of a vacuum-type precision seeder using response surface methodology. *Biosystems Engineering*, 97(3): 347–356.
- Ardebili, S. M. S., Solmaz, H., & Mostafaei, M. (2019). Optimization of fusel oil–Gasoline blend ratio to enhance the performance and reduce emissions. *Applied Thermal Engineering*, 148: 1334-1345.
- Badua, S. A., Sharda, A., Strasser, R., & Ciampitti, I. (2021). Ground speed and planter downforce influence on corn seed spacing and depth. *Precision Agriculture*, 1-17.
- Balanian, H., & Karparvarfard, S. H. (2020). Design, Development and Laboratory Evaluation of Grooved Roller Metering Device for Corn Planting. *Iranian Journal of Biosystems Engineering*, 51(2): 305-317.
- Balanian, H., Karparvarfard, S. H., & Azimi-Nejadian, H. (2019). Investigation for Laboratory Performance of Grooved Roller Metering Device for Corn Planting Effects on Seeds Distance. *Iranian Journal of Biosystem Engineering*, 50(3): 547-556. (In Persian)
- Balanian, H., Karparvarfard, S. H., Mousavi Khanghah, A., Raoufat, M. H., & Azimi-Nejadian, H. (2021). Prediction of Seed Flow Rate of a Multi-Slot Rotor Metering device Device of a Corn Planter. *Journal of Agricultural Machinery*, 11(1): 17-27.
- Cerrudo, D. (2010). Effects of early stress on plant-to-plant variability and grain yield in maize (*Zea mays*. L).
- Dolati, M., & Karparvarfard, S. H. (2006). Design, Development & Evaluation of a Penumatic Punch Planter for Corn Planting. *Iranian Journal of Agriculture Science*, 37(2): 193-204. (In Persian)
- Emrah, K. U. Ş., & YILDIRIM, Y. (2020). Effects of Seed Drop Height and Tillage System on the Emergence Time and Rate in the Single Seed Planters. *Alinteri Zirai Bilimler Dergisi*, 35(1): 69-76.
- Mondani, A. & Karparvarfard, S. H. (2016). Development and field evaluation of an intercropping machine for corn and bean. *Journal of Agriculture Machinery*, 6(2): 283-297. (In Persian).
- Najafi, G., Ghobadian, B., Yusaf, T., Ardebili, S. M. S., & Mamat, R. (2015). Optimization of performance and exhaust emission parameters of a SI (spark ignition) engine with gasoline–ethanol blended fuels using response surface methodology. *Energy*, 90: 1815-1829.
- Navid, H., Ebrahimian, S., Gassemzadeh, H. R., & Mousavi Nia, M. J. (2011). Laboratory evaluation of seed metering device using image processing method. *Australian journal of agricultural Engineering*, 2(1): 1-4.

## منابع

