DOI: 10.22059/ijbse.2020.292725.665243 مهندسی بیوسیستم ایران، دوره ۵۱، شماره ۲، تابستان ۱۳۹۹ (ص ۳۱۷-۳۰۵)

Design, Development and Laboratory Evaluation of Grooved Roller Metering Device for Corn Planting

HOSSEIN BALANIAN[1], SEYED HOSSEIN KARPARVARFARD[1*]
1. Biosystem Engineering Department, College of Agriculture, Shiraz University, Shiraz, Iran
(Received: Nov. 24, 2019- Revised: Feb. 6, 2020- Accepted: March. 4, 2020)

ABSTRACT

Precision planters provide accurate placement of single seeds at equal and uniform intervals within rows by metering devices. Air drum, inclined plate, belt, horizontal plate and roller meter device used for precision planter which the roller metering device was used mostly. Three levels of number of slots (4, 5 and 6) and three levels of slots mouth (23°, 25° and 27°) were considered as the new metering device parameters. So, nine new metering devices were made by PTFE Teflon. The experiments were done by grease belt system with three different forward speeds (2.5, 3.5 and 4.5 $km.h^{-1}$) and four Rotational speed ratios (0.5, 0.67, 0.75 and 1) in three replications as a completely randomized factorial design. Multiple index, quality of feed index, miss index and precision index were considered for laboratory evaluation of the metering device. Based on the results, the optimum design values for single-seed metering device were 5 slots with 24.5 degrees in the slots mouth in 3.5 $km.h^{-1}$ forward speed and 0.67 rotational speed ratio (52 rpm rotational speed).

Keywords: Grease Belt, Number of slots, Angle of slots mouth, Row-Crop planting.

* Corresponding Author's Email: Karparvr@shirazu.ac.ir

طراحی، ساخت و ارزیابی آزمایشگاهی موزع غلتکی شیاردار برای کشت ذرت

حسین بلانیان[۱]، سید حسین کارپرورفرد[۲*]

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد، بخش مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران

۲. دانشیار، بخش مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۹/۳- تاریخ بازنگری: ۱۳۹۸/۱۱/۱۷- تاریخ تصویب: ۱۳۹۸/۱۲/۱۴)

چکیده

کارنده‌های دقیق مقدار معینی بذر را توسط موزع، با فواصل منظم و یکنواخت روی ردیف‌ها قرار می‌دهند. موزع‌های مکشی، صفحه‌ای مایل، تسمه‌ای، دوار افقی و غلتکی شیاردار برای کارنده‌های دقیق بکار می‌روند که کاربرد موزع‌های غلتکی شیاردار از همه بیشتر است. پارامترهای طراحی موزع جدید شامل زاویه دهانهٔ قرارگیری بذر در داخل شیار موزع در سه سطح (۲۳، ۲۵ و ۲۷ درجه) و تعداد شیارهای موزع در سه سطح (۴، ۵ و ۶ شیار) بود. بنابراین مجموعاً ۹ موزع از جنس تفلون زلامید ساخته شد. آزمایش‌ها در سه سطح سرعت پیشروی (۲/۵، ۳/۵ و ۴/۳ کیلومتر بر ساعت) و چهار سطح نسبت تغییر سرعت دورانی (۰/۵، ۰/۶۷، ۰/۷۵ و ۱) به صورت فاکتوریل بر پایهٔ طرح کاملا تصادفی در سه تکرار و برروی تسمهٔ آغشته به گریس انجام شدند. شاخص‌های چندکاشتی، کیفیت تغذیه، نکاشت و دقت جهت ارزیابی آزمایشگاهی موزع مورد نظر، در نظر گرفته شدند. بر اساس نتایج حاصله، موزع ۵ شیاره با زاویهٔ دهانهٔ ۲۴/۵ درجه در سرعت پیشروی ۳/۵ کیلومتر برساعت و نسبت تغییر سرعت دورانی ۰/۶۷ (۵۲ دور در دقیقه) به عنوان موزع تکدانه‌کار بهینه پیشنهاد شد.

واژه‌های کلیدی: تسمهٔ آغشته به گریس، تعداد شیار، زاویهٔ دهانهٔ شیار، کشت ردیفی

مقدمه

در جامعه‌ی امروز، به دلیل افزایش جمعیت و نیاز غذایی بیشتر، همه امیدها به سوی کشاورزی و بالارفتن تولید محصولات کشاورزی معطوف شده است. از میان محصولات کشاورزی ذرت[۱] اهمیت فوق‌العاده‌ای در تأمین غذای انسان‌ها، دام، طیور و مصارف صنعتی و دارویی دارد، بنابراین جهت افزایش سطح زیر کشت و همچنین بهبود روش کشت آن، باید اقدامات اساسی به عمل آید.

عملکرد ماشین‌های کاشت، عواملی که در جوانه‌زدن و سبزشدن دانه‌های کشت شده مؤثرند را تحت تأثیر قرار می‌دهد. کنترل دقیق عمق کاشت، قرار دادن بذور در خاک به طوری که با خاک تماس مناسب داشته و بتواند از رطوبت خاک به نحو مطلوب استفاده نماید و ایجاد شرایطی در حین کاشت که مانع تشکیل سله بر روی بذر کاشته شده شود، در میزان جوانه زدن و سبز شدن بذرها و به ویژه بذرهای ریز اهمیت بسزایی دارد (Srivastava *et al*., 2006).

با توجه به هزینهٔ زیاد کارنده‌های نیوماتیکی در ایران، هنوز استفاده از این نوع کارنده‌ها در بین کشاورزان رواج نیافته است. به طور معمول کشاورزان از خطی‌کارها در کشت بذور استفاده می‌کنند که این نوع کارنده‌ها بذرها را به صورت خطی و نواری روی زمین می‌ریزند بدون آنکه فواصل بذرها از همدیگر تنظیم شده باشد (Amiriyan *et al*., 2017).

موزع‌های مناسبی جهت کشت کپه‌ای طراحی شده‌اند. این موزع‌ها از نوع غلتکی با شیارهای موازی بر روی سطح آن هستند. از این موزع‌ها برای کشت کپه‌ای برنج در آزمایشگاه استفاده شده است. در ارزیابی این نوع موزع‌ها دو فاکتور سرعت پیشروی و قطر موزع در نظر گرفته شد که کمترین میزان آسیب به بذور در سرعت ۳ کیلومتر در ساعت حاصل گردیده است (Rebati & Zareian, 2003).

توانایی قرار دادن بذور در فواصل مورد انتظار به صورت مجزا بر روی یک ردیف، یک فاکتور مهم در ارزیابی کارنده می‌باشد. داده‌های جمع آوری شده برای ارزیابی عملکرد کارنده، اغلب بر اساس فواصل بین بذرهاست. فاصله بین بذرهای روی ردیف، تحت تأثیر تعدادی از فاکتورها مانند: تعداد بذر ریخته شده در واحد زمان، عدم سقوط بذر و عدم سبز شدن بذر می‌باشد (Omidi & Karparvarfard, 2009).

در پژوهشی دقیق‌کار حفره‌سازی، مناسب با کشت ذرت طراحی و مورد ارزیابی آزمایشگاهی و مزرعه‌ای قرار گرفت. آن‌ها اثر سرعت پیشروی را بر شاخص‌های چندکاشتی، کیفیت تغذیه، نکاشت و دقت بر روی تسمهٔ آغشته به گریس در آزمایشگاه مورد

* نویسنده مسئول: Karparvr@shirazu.ac.ir

1- Maize

بررسی قرار دادند. آن‌ها دریافتند که با افزایش سرعت پیشروی تا ۵/۵ کیلومتر بر ساعت شاخص‌های چندکاشتی، دقت و نکاشت افزایش و شاخص کیفیت تغذیه کاهش یافت (Dolati & Karparvarfard, 2006).

در تحقیقی عملکرد نوعی موزع کارندهٔ نیوماتیک بمنظور بهینه‌سازی پارامترهای طراحی و نحوهٔ کشت پنبه در آزمایشگاه و مزرعه مورد بررسی قرار گرفت. در این پژوهش تأثیر سرعت دورانی صفحه موزع، فشار خلأ ایجاد شده و شکل سوراخ‌های روی صفحهٔ موزع با میانگین فاصلهٔ بین بذور، شاخص دقت، شاخص نکاشت، شاخص کیفیت تغذیه و چندکاشتی مورد ارزیابی قرار گرفتند. کمترین میزان شاخص نکاشت (۱٪/۶۳) در پایین‌ترین سرعت و پایین‌ترین میزان شاخص چندکاشتی (۲٪/۹۶) در بالاترین سرعت مشاهده شد به عبارت دیگر با افزایش سرعت دورانی صفحه موزع، شاخص نکاشت افزایش و شاخص چندکاشتی کاهش یافته است. همچنین آن‌ها دریافتند که با افزایش سرعت دورانی صفحه موزع، میانگین فاصلهٔ بین بذور و شاخص دقت نیز افزایش می‌یابد (Singh *et al*., 2005).

همچنین یک موزع تحت خلأ هوا مناسب برای کشت ذرت مورد بررسی قرار گرفت. در این رابطه آن‌ها دریافتند که تغییر سرعت پیشروی اثر معنی‌داری بر شاخص چندکاشتی ندارد اما بر شاخص دقت موثر بود (Miller *et al*., 2012).

نوعی موزع جهت کشت دقیق بذر گندم برای غلبه بر آسیب‌های وارده به بذر، کاهش بذر مورد استفاده و توزیع غیر یکنواخت آن مورد بررسی قرار گرفت. عملکرد دستگاه دقیق‌کار نیوماتیکی با شاخص‌های کیفیت تغذیه، چندکاشتی، نکاشت و میزان بذر استفاده شده در واحد طول خط کشت، تحت شرایط آزمایشگاهی و با استفاده از دوربین مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان داد که سرعت دورانی موزع، فشار منفی و تأثیر متقابل آن‌ها بر شاخص‌های مدنظر تأثیر معنی‌داری داشته‌اند. آن‌ها دریافتند که با افزایش سرعت دورانی، شاخص چندکاشتی کاهش ولی شاخص نکاشت افزایش یافته است. بیشترین مقدار شاخص کیفیت تغذیه معادل ۹۲/۹۸٪ به ازاء ۱۹ دور بر دقیقه سرعت دورانی موزع و ۲/۵ کیلوپاسکال فشار منفی حاصل گردید. مقادیر شاخص‌های چندکاشتی و نکاشت نیز به ترتیب ۲/۱ ٪ و ۵/۹ ٪ بدست آمد. همچنین افزایش سرعت دورانی موزع، تعداد بذر ریخته شده در واحد طول را افزایش داده است (Hassan Yasir *et al*., 2012).

در تحقیقی موزع دقیق‌کار نیوماتیکی مورد ارزیابی قرار گرفت. هدف از این پژوهش تعیین یکنواختی فاصلهٔ بین بذور ریخته شده از این موزع دقیق‌کار برای بذور ذرت و پنبه بود. شاخص‌های کیفیت تغذیه، چندکاشتی، نکاشت و دقت به عنوان شاخص‌های عملکرد برای کشت دقیق در نظر گرفته شد. همچنین سه سرعت پیشروی ۱، ۱/۵ و ۲ متر بر ثانیه به عنوان متغیر در نظر گرفته شد. آن‌ها به این نتیجه رسیدند که سرعت‌های پیشروی ۱ و ۱/۵ متر بر ثانیه بهترین عملکرد را برای موزع‌های صفحه‌ای تحت خلأ بوجود آوردند. با این حال این عملکرد در سرعت پیشروی ۲ متربرثانیه به طور قابل ملاحظه‌ای کاهش یافت. تجزیه و تحلیل آماری نشان داد که اثر سرعت پیشروی و تعداد سوراخ‌ها و اثرات متقابل آن‌ها بر شاخص کیفیت تغذیه قابل توجه است. همچنین آن‌ها دریافتند که با افزایش سرعت پیشروی شاخص کیفیت تغذیه کاهش و شاخص‌های چندکاشتی و نکاشت افزایش یافت (Yazgi & Degirmencioglu, 2014).

به منظور بهبود کارایی کارنده‌های ذرت یک سیستم مکاترونیک طراحی و عملکرد مزرعه‌ای آن مورد بررسی قرار گرفت. آن‌ها فاصلهٔ بین بذور ریخته شده بر روی خطوط کشت را اندازه‌گیری کردند و شاخص‌های کیفیت تغذیه، نکاشت، دقت و یکنواختی فاصله‌ها را ارزیابی نمودند. آن‌ها دریافتند که افزایش سرعت پیشروی تا ۱۲ کیلومتر بر ساعت، شاخص‌های یکنواختی فاصلهٔ بین بذور و نکاشت افزایش و شاخص کیفیت تغذیه کاهش یافته است. مقادیر شاخص کیفیت تغذیه، نکاشت و دقت به ترتیب ۸۹/۸۳٪، ۵/۰۸٪ و ۱۸/۹۲٪ گزارش گردید (Li *et al*., 2015).

باتوجه به پژوهش‌های قبلی و عدم وجود موزع تکدانه‌کار غلتکی شیاردار، ساخت موزع غلتکی شیاردار جدید با تغییر در طراحی شکل و تعداد شیار با درنظر گرفتن سرعت‌های دورانی و پیشروی مختلف مدنظر قرار گرفت. پژوهش حاضر مبتنی بر ارائه‌ی طرحی ساده و در عین حال کاربردی و جدید جهت اجرا کشت ردیفی ذرت مدنظر قرار گرفت. موزع جدید به نحوی طراحی و ساخته گردید تا بتواند با بکارگیری اصول صحیح در فرآیند کشت ردیفی، بذر ذرت را با نسبت دقیق و الگوی منظم کشت بنماید. به علاوه به دور بودن از پیچیدگی‌های خاص موجود در طراحی موزع‌های مکشی نیز مدنظر قرار داشت. بنابراین با ساخت یک واحد از موزع مورد نظر، به منظور سنجش عملکرد آن، ارزیابی آزمایشگاهی این موزع بر روی تسمهٔ آغشته به گریس انجام شد، با اندازه‌گیری پارامترهایی از قبیل شاخص کیفیت تغذیه، شاخص چندتایی و شاخص نکاشت، عملکرد موزع با استفاده از آنالیزهای آماری مورد سنجش و ارزیابی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

بذر مورد استفاده در این پژوهش، ذرت دانه‌ای با واریتهٔ ۷۰۴ بود که مشخصات آن در جدول ۱ نشان داده شده است.

جدول ۱- خصوصیات ذرت با واریتهٔ ۷۰۴

میانگین طول (mm)	میانگین عرض (mm)	میانگین ضخامت(mm)	رطوبت بر پایهٔ وزن خشک (٪)	چگالی بذر ($Kg.L^{-1}$)	وزن هزار دانهٔ (Kg)	زاویهٔ اصطکاک داخلی (°)
۱۰/۰۳	۷/۶۱	۶/۱۵	۷/۲۸	۰/۸۱	۳۴۲	۶۴

زاویهٔ اصطکاک داخلی بر اساس روش ارائه شده در متون علمی محاسبه گردید (Hassan Yasir *et al.*, 2012). وزن هزار دانه بر اساس متوسط وزن صد دانه در بیش از سه تکرار تعیین و اندازه‌گیری شد. چگالی بذر از طریق تقسیم وزن بذور ریخته شده در استوانهٔ مدرج ۳۰۰ میلی‌متری پس از ۱۵ تکرار تعیین شد. رطوبت بر پایهٔ وزن خشک را به کمک آون در دمای ۱۰۵ درجه و به مدت ۷۲ ساعت و میانگین طول، عرض و ضخامت بذور، حاصل از اندازهٔ متوسط ابعاد ۵۵ عدد بذر بدست آمد (Mohsenin, 1983).

معرفی واحد کارنده

واحد کارنده شامل شاسی، مخزن بذر، استوانهٔ موزع، محفظهٔ موزع، برس، محور محرک موزع، یاتاقان‌ها، لولهٔ سقوط و سیستم انتقال نیرو به موزع است (شکل ۱).

شکل ۱- نمایی از واحد کارنده ساخته شده

جهت ساخت شاسی از تسمه‌های فولادی ۵۰ میلی‌متری و نبشی‌های همساق ۲×۴۰×۴۰ میلی‌متر و ۲×۵۰×۵۰ میلی‌متر به طول‌های مختلف استفاده شد. بر روی این شاسی تمهیداتی برای تنظیم موقعیت طولی واحد کارنده نسبت به تسمهٔ آغشته به گریس فراهم شده بود. همچنین شیاری به عنوان محل نصب و تنظیم زنجیرسفت کن سیستم در نظر گرفته شد.

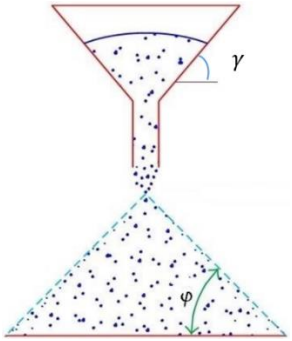
باتوجه به اینکه هر نوع بذر دارای زاویهٔ استقرار مخصوص به خود است، بنابراین زاویهٔ شیب دیوارهٔ مخزن بذر از رابطهٔ (۱) محاسبه گردید (Mondani & Karparvarfard, 2016):

$$\gamma > 45 + \varphi/2 \quad \text{(رابطه ۱)}$$

در این رابطه پارامترهای γ و φ به ترتیب زاویهٔ شیب دیوارهٔ مخزن و زاویه استقرار مواد برروی یکدیگر می‌باشد (شکل ۲).

مخزن اصلی مورد استفاده در این آزمایش به نحوی ساخته شده که شیب دیوارهٔ آن قابل تغییر و تنظیم بود. دهانهٔ خروج بذر در این مخزن مربعی به ضلع ۱۵۰ میلی‌متر بود. با توجه به زاویهٔ اصطکاک داخلی بذر، زاویهٔ دیوارهٔ مخزن ۶۸ درجه انتخاب شد.

در ساخت استوانهٔ موزع، شکل و تعداد شیارها از عوامل مهم می‌باشند. اندازهٔ شیارها با توجه به اندازهٔ بذر انتخابی و تعداد بذری که باید در آن جای گیرد، تعیین می‌شود. پنج متغیر dy، β، βIs، βrs و Re که به ترتیب بیانگر عمق شیار، زاویهٔ دهانهٔ شیار، زاویهٔ شیار در سمت چپ، زاویهٔ سمت راست شیار و شعاع انحنای ته شیار جابجایی زاویه‌ای استوانه و دو متغیر مکانی θ و α که بیانگر جابجایی زاویه‌ای استوانه و زاویهٔ شیب سمت چپ شیار از سطح افق در شکل (۳-الف) نشان داده شده‌اند.



شکل ۲- زاویهٔ شیب دیوارهٔ مخزن (γ) و زاویه استقرار مواد برروی یکدیگر (φ)

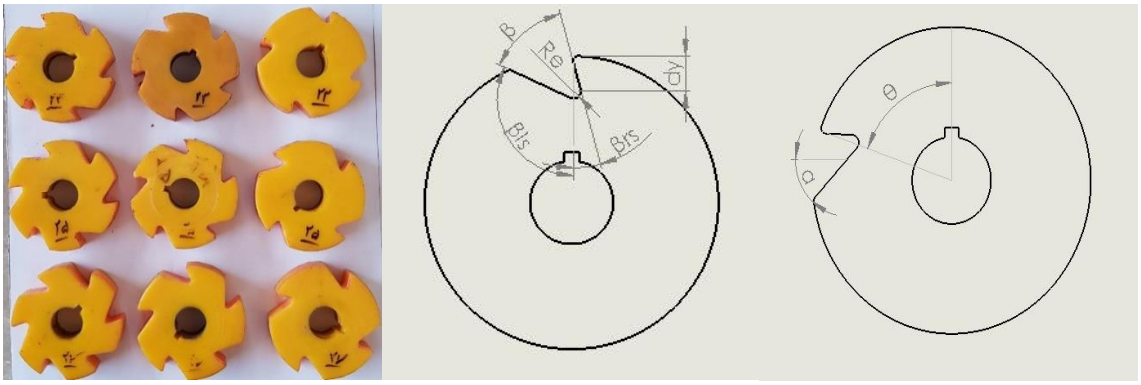
در بیان تشریح عوامل متغیر در طراحی موزع‌ها در خصوص عمق شیار می‌توان اشاره نمود که عمق شیار باید بطور جزئی از قطر قرارگیری بذر در داخل شیار بزرگتر باشد، کوچک بودن عمق شیار باعث آسیب دیدن بذر می‌شود. همچنین بمنظور کشت دقیق از زوایای کوچک در طراحی دهانهٔ شیار استفاده می‌شود تا عمل تغذیه و تخلیه موزع دچار ایراد نگردد. در مورد زوایای شیار در سمت چپ و راست آن‌ها که از متغیرهای مهم در کشت دقیق محسوب می‌شوند، عامل تأخیر زمانی بین دو تخلیه متوالی بذور از شیار را تحت تأثیر قرار می‌دهند بنابراین زاویهٔ سمت راست شیار که عمل بذرگیری را مشخص می‌سازد باید کوچکتر از زاویهٔ سمت چپ شیار باشد (Rebati & Zareian, 2003).

برای جلوگیری از چسبیدن بذر در ته شیار موزع، مقدار شعاع انحنای ته شیار باید از شعاع انحنای سطح بذر که ۱/۵ میلی‌متر اندازه‌گیری شد (Mohsenin, 1983)، بیشتر باشد. همچنین برابر بودن زاویهٔ اصطکاک بین بذر و سطح داخلی شیار با زاویهٔ سمت چپ شیار از سطح افق، حرکت بذر به سمت پایین امکان‌پذیر می‌سازد.

با توجه با نکات بالا، زوایای سمت چپ و راست شیار به ترتیب ۱۵ و ۶۵ درجه و زاویه دهانه شیار ۲۳ درجه محاسبه گردید. با درنظر گرفتن شکل و اندازه بذرها، سه زاویهٔ ۲۳، ۲۵ و ۲۷ درجه به عنوان زاویهٔ دهانهٔ شیار انتخاب شدند که افزایش زاویهٔ دهانهٔ شیار، افزایش عمق شیارها را نیز بدنبال داشت. همچنین به دلیل متفاوت بودن فاصله بین بذرهای کشت شده در مزرعه که متناسب با قوهٔ نامیه بذر است، تعداد شیارهای موزع ۴، ۵ و ۶ درنظر گرفته شد. ضخامت و قطر خارجی موزع‌ها به ترتیب ۱۵ و ۶۰ میلی‌متر درنظر گرفته شد. تعداد ۹ موزع در نرم‌افزار Solidworks شبیه سازی و از جنس تفلون زلامید ساخته شدند شکل (۳-ب).

۹ موزع با تعداد شیارها و زوایای دهانهٔ شیار ذکر شده به همراه سه سطح سرعت پیشروی و چهار سطح نسبت تغییر سرعت دورانی بعنوان عوامل متغیر در آزمایش، مدنظر قرار گرفتند. موزع‌ها در داخل محفظهٔ موزع قرار گرفته و در سرعت‌های دورانی و پیشروی مختلف آزمایش شدند.

محفظهٔ استقرار موزع از تفلون معمولی به ابعاد ۷۵ ×۵۰ ×۱۰۰ که دارای دهانهٔ ورود بذر به ابعاد ۲۵ ×۵۰ میلی‌متر، دهانهٔ خروج بذر به ابعاد ۱۳×۵۰ میلی‌متر ساخته شد و با بکارگیری بلبرینگی به شمارهٔ ۹۹-۱۷ هم مرکز نمودن موزع و دهانهٔ محفظه مهیا شد. همچنین در زیر محفظهٔ موزع از ملزوماتی برای اتصال لولهٔ سقوط به آن استفاده شد. لولهٔ لاستیکی مجوف با زاویهٔ ۳۳ درجه به عنوان لولهٔ سقوط انتخاب شد. همچنین از یک قطعهٔ لاستیکی انحنادار به عنوان برس در محفظهٔ موزع استفاده گردید.



شکل ۳- الف- طرح‌وارهٔ موزع‌های استفاده شده در این پژوهش. ۳-ب- موزع‌های از جنس تفلون زلامید

محور محرک موزع از جنس فولاد بطول ۵۰۰ میلی‌متر و قطر ۱۷ میلی‌متر تراشیده و برای جلوگیری از حرکت موزع نسبت به محور، خار مناسبی تهیه و بر روی محور جازنی شد. اجزاء ساخته شده، بوسیله‌ی دو یاتاقان با قطر داخلی ۱۷ میلی‌متر توسط پیچ و مهره به شاسی متصل گردیدند.

در این پژوهش به منظور ارزیابی آزمایشگاهی موزع مورد نظر از تسمهٔ آغشته به گریس استفاده گردید. گریس به عنوان بستری جهت استقرار بذر مد نظر قرار گرفت. همچنین جهت فراهم ساختن نیروی لازم برای به حرکت در آوردن موزع، غلتک متحرک واحد تسمهٔ آغشته به گریس به عنوان چرخ زمین‌گرد درنظر گرفته شد. با توجه به اینکه یکی از تنظیمات کارنده‌ها تغییر سرعت دورانی موزع جهت بدست آوردن فاصله‌های متغیر و مناسب بین بذرها می‌باشد، لذا از یک جعبه‌دنده مکانیکی زنجیری متشکل از چهار چرخ زنجیر محرک و متحرک برای انتقال نیرو استفاده شد (جدول ۲).

جدول ۲- نسبت تغییر سرعت دورانی چرخ زمین‌گرد به محور محرک موزع‌ها

تعداد دندانهٔ چرخ زنجیر متحرک	تعداد دندانهٔ چرخ زنجیر محرک	نسبت تغییر سرعت دورانی
۲۸	۱۴	۰/۵
۲۴	۱۶	۰/۶۷
۲۲	۱۸	۰/۷۵
۲۰	۲۰	۱

ارزیابی آزمایشگاهی موزع مورد نظر برروی تسمهٔ آغشته به گریس انجام شد. سرعت خطی این تسمه از طریق یک جعبه دنده ۳۶ سرعته که به کمک یک الکتروموتور ۳ فاز به دوران در می‌آمد، تأمین می‌شد. برای محاسبهٔ سرعت خطی تسمه و سرعت دورانی موزع از دو اینکودر مدل E50S8-500-3-T-1 ساخت کارخانه Autonic کشور آمریکا استفاده شد. بردی الکترونیکی برای جمع آوری داده‌های اندازه‌گیری شده توسط حسگرها در این پژوهش مورد استفاده قرار گرفت. این برد الکترونیکی داده‌های مربوط به شفت اینکودرها را در ورودی گرفته و از طریق یک درگاه USB به یک رایانه منتقل می‌کرد.

جدول ۳- متغیرهای مستقل در نظر گرفته شده در پژوهش

متغیر مستقل	تعداد سطوح
تعداد شیار	۳
زاویهٔ دهانهٔ شیار	۳
نسبت تغییر سرعت دورانی	۴
سرعت پیشروی	۳

ارزیابی کارندهٔ مورد نظر در آزمایشگاه

در این تحقیق از آزمایش فاکتوریل در قالب طرح پایهٔ کاملاً تصادفی با ۳ تکرار استفاده شد. با توجه به شرایط آزمایشگاهی، از تسمهٔ آغشته به گریس استفاده شد. سرعت خطی این تسمه بیانگر سرعت پیشروی تراکتور در مزرعه بود. تسمهٔ آغشته به گریس مورد نظر دارای جعبه دنده ۳۶ حالته‌ای بود که ۳۶ سرعت پیشروی را فراهم می‌کرد. ۲/۵، ۳/۵ و ۴/۵ کیلومتر بر ساعت، سرعت‌های انتخاب شده در این پژوهش بودند. طول تسمه ۱۳/۶ متر که حدود ۶ متر از آن در دسترس قرار داشت. برای انجام آزمایش‌ها، با به حرکت درآوردن تسمه، بذرهای خروجی از طریق لولهٔ سقوط، بر روی تسمه آغشته به گریس ریخته می‌شدند. ۳ متر میانی از طول تسمه انتخاب و فاصلهٔ بین بذرها با کولیس اندازه‌گیری شد.

کارایی ماشین‌های کشت ردیفی از نظر نزدیکی فواصل بذرهای کاشته شده نسبت به فاصله کاشت مورد انتظار، مورد بررسی قرار می‌گیرند. فاصله کشت نظری (X_{ref}) عبارت است از فاصله کاشتی که بر اساس محاسبات و از طریق قطر چرخ محرک سیستم موزع[1]، نسبت سرعت در سیستم انتقال توان کارنده[2] و تعداد شیارهای موزع بدست می‌آید. برای ارزیابی دقیق ردیف‌کارها، موسسه استاندارد جهانی[3] در سال ۱۹۸۴ پارامترهای شاخص چندکاشتی، شاخص نکاشت، شاخص کیفیت تغذیه و شاخص دقت را بر پایه فاصلهٔ کشت نظری باتوجه به روابط ۲ تا ۵، تعریف نمود (I.S.O 7256/1) (Balanian *et.al.*, 2019).

$$D = \frac{n_1}{N} \times 100 \quad \text{(رابطه ۲)}$$

D: شاخص چندکاشتی (%)، N: تعداد کل فواصل اندازه-گیری شده و n_1: تعداد فواصل کاشتی که در محدوده صفر تا ۰/۵ برابر فاصله تئوری قرار دارند.

$$M = \frac{n_3 + n_4 + n_5}{N} \times 100 \quad \text{(رابطه ۳)}$$

M: شاخص نکاشت (%)، N: تعداد کل فواصل اندازه‌گیری شده و n_3, n_4 ,n_5: تعداد فواصل کاشتی است که در محدوده ۱/۵ تا ∞ برابر فاصله تئوری قرار دارند.

$$A = \frac{n_2}{N} \times 100 \quad \text{(رابطه ۴)}$$

A: شاخص کیفیت تغذیه (%)، N: تعداد کل فواصل اندازه-گیری شده و n_2: تعداد فواصل کاشتی که در محدوده ۰/۵ تا ۱/۵ برابر فاصله تئوری قرار دارند.

$$C = \frac{S_2}{Xref} \times 100 \quad \text{(رابطه ۵)}$$

C: شاخص دقت (%)، Xref: فاصله کاشت تئوری و S_2: انحراف معیار فواصلی که در محدوده ۰/۵ تا ۱/۵ برابر فاصله تئوری قرار دارند.

نتایج و بحث

جدول ۴ تجزیه واریانس مربوط به تاثیر تیمارهای مورد نظر بر شاخص‌های محاسبه شده را نشان می‌دهد. با توجه به این جدول مشخص گردید که تمامی شاخص‌ها با تغییر زاویهٔ دهانهٔ شیار به

1 - Seed metering system driver wheel
2 - Power transmission system
3 - International organization for standardization

طور معنی‌داری تغییر یافته‌اند.

باتوجه به جدول ۵-الف با افزایش زاویهٔ دهانهٔ شیار که به تبع آن عمق شیارها افزایش می‌یافت، شاخص چندکاشتی افزایش یافته و این امر می‌تواند ناشی از قرارگیری بذرهای بیشتر در درون شیارهایی با عمق بیشتر قلمداد گردد.

همچنین با افزایش این زاویه، شاخص کیفیت تغذیه کاهش یافته است. با افزایش زاویهٔ دهانهٔ شیار شانس ورود بذور بیشتر به درون شیار افزایش می‌یافت. با توجه به تعریف شاخص کیفیت تغذیه، فواصل بذور کمتر از فاصلهٔ نظری شده و لذا برروی شاخص مورد نظر تأثیر گذار گردید.

با افزایش زاویهٔ دهانهٔ شیار میزان شاخص نکاشت، کاهش پیدا کرد. همانطور که در قسمت قبل گفته شد، تغییر زاویهٔ دهانهٔ شیار ارتباط مستقیمی با عمق شیارها برای قرارگیری بذور درون آن‌ها دارد. به عبارت دیگر با کاهش زاویه، امکان عدم استقرار بذرها در درون شیارهای موزع فراهم می‌شد که در نهایت شاخص نکاشت افزایش می‌یافت.

با توجه به اینکه شاخص کیفیت تغذیه برروی شاخص دقت اثرگذار می‌باشد، لذا تغییرات زاویهٔ دهانهٔ شیار که برروی شاخص کیفیت تغذیه اثر معنی‌داری داشته است، برروی شاخص دقت نیز تأثیرگذار بوده است.

با توجه به جدول ۴ که تجزیه واریانس مربوط به تاثیر تعداد شیار بر شاخص‌های محاسبه شده را نشان می‌دهد، شاخص‌های چندکاشتی، کیفیت تغذیه و دقت با تغییر تعداد شیار بطور معنی‌داری تغییر یافته‌اند.

باتوجه به جدول ۵-الف با افزایش تعداد شیارها، میزان چندکاشتی افزایش یافته است. باتوجه به اینکه فاصلهٔ بین بذور بر روی خط کشت تحت تأثیر تعداد شیارهای موزع است لذا می‌توان نتیجه گرفت، ممکن است با افزایش تعداد شیار میزان تعداد بذور دریافتی موزع، که دارای اندازه کوچکتر هستند، افزایش یافته و تعداد بذر ریخته شده نیز زیاد شود.

با افزایش زاویهٔ دهانهٔ شیار میزان شاخص نکاشت، کاهش پیدا کرد. همانطور که در قسمت قبل گفته شد، تغییر زاویهٔ دهانهٔ شیار ارتباط مستقیمی با عمق شیارها برای قرارگیری بذور درون آن‌ها دارد. به عبارت دیگر با کاهش زاویه، امکان عدم استقرار بذرها در درون شیارهای موزع فراهم می‌شد که در نهایت شاخص نکاشت افزایش می‌یافت.

جدول ۴- تجزیه واریانس اثر تیمارها بر شاخص‌های مورد نظر

	درجه آزادی	شاخص چندکاشتی	شاخص کیفیت تغذیه	شاخص نکاشت	شاخص دقت
زاویهٔ دهانهٔ شیار(β)	۲	۲۱۵۹۵/۱۴۴۵۴**	۱۲۳۱۰/۱۰۸**	۱۵۶۹۸/۲۹۸**	۹۵/۶۹۶**
تعداد شیار(N)	۲	۵۰۶/۰۰۲**	۷۵۴/۰۵۲**	۳۵/۸۸۳ns	۶۷/۶۲۰*
نسبت تغییر سرعت دورانی(D)	۳	۲۵۳/۴۶۶**	۲۰۹/۰۳۲ns	۶۶۳/۱۳۱**	۳۴۶/۳۲۰**
سرعت پیشروی(V)	۲	۴۹/۰۱۷ns	۸۳۰/۸۸۷**	۸۲۷/۸۱۷**	۲۹۱/۳۰۷**
β×N	۴	۴۸۶/۴۸**	۵۶۴/۷۷**	۲۱/۱۱ns	۴۵/۰۴*
β×V	۴	۲۰۸/۷۴ns	۹۳/۲ns	۱۹۳/۶۸**	۵۴/۱۲*
β×D	۶	۱۱۱/۳۱ns	۳۹۸/۵۶**	۲۰۲/۷۱**	۲۶/۶۵ns
N×V	۴	۵۲/۳۳ns	۶۵/۵۹ns	۶۵/۱۷*	۴۴/۲۱*
N×D	۶	۲۸۹/۲۴**	۲۸۸/۷۹*	۱۰/۷ns	۳۷/۹۹*
D×V	۶	۴۰۸/۳**	۲۲۲/۶۶ns	۱۰۴/۶۲*	۲۹/۶۱ns
β×N×V	۸	۹۴/۸۲ns	۱۲۴/۷۴ns	۱۵/۳۷ns	۲۴/۹۴ns
β×N×D	۱۲	۴۱۴/۷۴**	۳۵۴/۹۲**	۲۶/۳۵ns	۳۴/۹۹*
β×V×D	۱۲	۱۰۰/۶۹ns	۱۴۷/۵۵ns	۵۲/۶۹*	۳۶/۹۴*
N×V×D	۱۲	۶۵/۲۸ns	۱۰۱/۲۱ns	۳۴/۲۸ns	۳۱/۲۹ns
β×N×V×D	۲۴	۸۴/۶۹ns	۹۱/۰۶ns	۳۴/۵ns	۱۹/۸۲ns
خطا	۲۱۶	۸۹/۲۶	۱۰۸/۸۶	۲۵/۸۸	۱۷/۵۸
کل	4۳۲۴32				
cv		۱۲/۵۳۵	۱۰/۰۶۸	۱۲/۷۱۴	۱۵/۷۳۸

****= $p \leq 0.01$, * = $p \leq 0.05$, ns = non-significant**

همچنین نتایج نشان داد که با افزایش تعداد شیار میزان شاخص کیفیت تغذیه کاهش یافته است(Yazgi & Degirmencioglu, 2014). با زیاد شدن تعداد شیار، شانس ورود و جایگیری مناسب بذر در داخل شیارها کاهش یافته و درنهایت منجر به کاهش شاخص کیفیت تغذیه می‌شود.

در حالت کلی تعداد بذوری که در داخل شیارها قرار می‌گیرد تا امکان کاشت آن‌ها حتی به صورت چندکاشتی فراهم شود، می‌تواند مستقل از تعداد شیارها باشد.

با توجه به افزایش تعداد شیار که منجر به سیر صعودی شاخص دقت می‌شود، علی القاعده شانس دریافت بذور از مخزن را بیشتر می‌نماید، از طرفی با توجه به تعریف شاخص دقت، تعداد شیارهای موزع برروی شاخص دقت تأثیرگذار خواهد بود.

با توجه به جدول ۴ تمامی شاخص‌های مورد بررسی به جز شاخص کیفیت تغذیه با تغییر نسبت سرعت در سیستم انتقال توان بطور معنی داری تغییر یافته‌اند که در ادامه به تفصیل، چگونگی تغییر شرح داده شده‌اند.

باتوجه به نتایج حاصل از جدول ۵-ب تغییرات نسبت تغییر سرعت دورانی بر شاخص کیفیت تغذیه اثر معنی‌داری نداشت.

همچنین می‌تواند به نتایج زیر دست یافت:

با افزایش نسبت تغییر سرعت دورانی میزان چندکاشتی کاهش یافته است که این امر می‌تواند ناشی از این امر تلقی شود که با افزایش سرعت دورانی زمان پرشدن شیارها کاهش یافته و در نهایت شاخص چندکاشتی نیز کاهش یافته است. با افزایش نسبت تغییر سرعت دورانی محور موزع که همان افزایش سرعت دورانی است، زمانی کافی برای قرارگیری بذور درون شیارها فراهم نشده و در نهایت میزان شاخص نکاشت افزایش یافته است. باتوجه به تعریف شاخص دقت، افزایش این شاخص، حاکی از افزایش پراکنش بذور برروی خط کشت خواهد بود. لذا افزایش نسبت تغییر سرعت دورانی این پراکنش را اضافه می‌نماید.

محققان در تحقیقات دیگر نیز به این نتایج رسیده بودند (Singh *et al*., 2005; Hassan Yasir *et al*., 2012).

با توجه به جدول ۴ از بین شاخص‌های مورد بررسی، شاخص‌های کیفیت تغذیه، نکاشت و دقت با تغییر سرعت پیشروی بطور معنی‌داری تغییر یافتند. جدول ۵-ب که مقایسه میانگین سطوح مختلف سرعت پیشروی بر شاخص‌های مورد نظر را نشان می‌دهد می‌توان نتایج زیر را ارائه نمود.

سرعت پیشروی برروی فاکتور فاصلهٔ بین بذور اثرگذار است لذا تأثیر معنی‌داری بر شاخص چندکاشتی نداشته است (Miller *et al*., 2012). سرعت پیشروی به خودی خود بر عامل فاصلهٔ بین بذور اثرگذار است و زمانی که با سرعت دورانی تلفیق گردد موجب می‌شود تا پدیدهٔ چند کاشتی که تحت تأثیر مستقیم سرعت دورانی است معنی‌دار شود، لذا چنانچه سرعت دورانی کم باشد این تأثیر با افزایش سرعت پیشروی بیشتر خواهد شد.

نتایج نشان داد که با کاهش سرعت پیشروی که به تبع آن سرعت دورانی موزع نیز کاهش می‌یابد، میزان شاخص کیفیت تغذیه افزایش یافت (Yazgi & Degirmencioglu, 2014; Li *et al*., 2015; Dolati & Karparvarfard, 2006). این امر می‌تواند ناشی از این باشد که در سرعت‌های پایین‌تر چندکاشتی و نکاشت کاهش یافته و درنهایت منجر به افزایش شاخص کیفیت تغذیه شده است.

با افزایش سرعت پیشروی، شاخص نکاشت نیز افزایش یافت (Yazgi & Degirmencioglu, 2014; Li *et al*., 2015; Dolati & Karparvarfard, 2006). افزایش سرعت پیشروی یعنی افزایش فاصلهٔ بین بذور ریخته شده برروی خط کشت، لذا ممکن است با افزایش سرعت پیشروی، افزایش فاصله‌ای بین بذور ریخته شده حاصل شود که نهایتاً در فاصلهٔ تعریف شده برای این شاخص قرار نگرفته باشند. همچنین با توجه به اثر مستقیم سرعت پیشروی بر سرعت دورانی موزع، میتوان نتیجه گرفت که با افزایش سرعت پیشروی، سرعت دورانی موزع نیز افزایش یافته است. بنابراین زمان قرارگیری بذور در دهانهٔ شیار کم شده و در نهایت شاخص نکاشت کاهش یافته است.

جدول ۵- الف- مقایسه میانگین سطوح مختلف تیمارهای زاویه دهانه شیار و تعداد بر شاخص‌های محاسبه شده

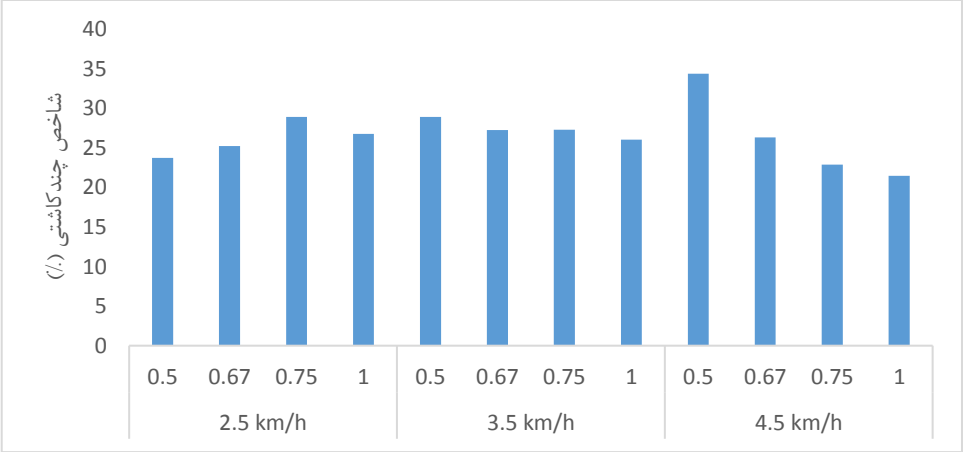
تعداد شیار			زاویهٔ دهانهٔ شیار(°)			
۴	۵	۶	۲۳	۲۵	۲۷	شاخص
۲۴/۶۷۸^{c}	۲۶/۲۰۸^{b}	۲۸/۹۵۰^{a}	۱۳/۴۴۴^{c}	۲۴/۸۳۴^{b}	۴۱/۵۵۷^{a}	شاخص چندکاشتی (٪)
۷۱/۸۶۳^{a}	۷۹/۲۸۴^{ab}	۶۶/۵۷۹^{b}	۷۸/۲۲۰^{a}	۷۲/۰۶۸^{b}	۵۷/۴۳۷^{c}	شاخص کیفیت تغذیه (٪)
۳/۵۰۵^{a}	۴/۵۳۱^{a}	۴/۴۷۶^{a}	۸/۴۲۰^{a}	۳/۰۹۷^{b}	۱/۰۱۱^{c}	شاخص نکاشت (٪)
۲۰/۳۵۰^{b}	۲۱/۵۳۵^{a}	۲۱/۸۴۹^{a}	۲۱/۳۶۱^{ab}	۲۲/۱۲۲^{a}	۲۰/۲۵۰^{b}	شاخص دقت (٪)

جدول ۵- ب- مقایسه میانگین سطوح مختلف تیمارهای سرعت پیشروی و نسبت تغییر سرعت دورانی بر شاخص‌های محاسبه شده

سرعت پیشروی ($Km.h^{-1}$)			نسبت تغییر سرعت دورانی			
۲/۵	۳/۵	۴/۵	۰/۵	۰/۶۷	۰/۸۲	۱	شاخص
۲۶/۱۷۶	۲۷/۳۸۸	۲۶/۲۷۲	۲۹/۰۲۵^{b}	۲۶/۲۸۱^{ab}	۲۶/۳۷۴^{ab}	۲۴/۲۶۸^{a}	شاخص چندکاشتی (٪)
۷۲/۱۷۶^{a}	۶۸/۸۸۵^{b}	۶۶/۶۶۴^{c}	۶۹/۴۶۷^{ab}	۷۱/۲۷۱^{a}	۶۸/۸۳۲^{ab}	۶۷/۲۹۳^{b}	شاخص کیفیت تغذیه (٪)
۱/۶۵۱^{c}	۳/۷۲۵^{b}	۷/۱۳۴^{a}	۱/۵۱۱^{c}	۲/۴۴۷^{c}	۴/۷۹۲^{b}	۷/۹۲۹^{a}	شاخص نکاشت (٪)
۱۹/۳۹۱	۲۱/۸۲۵^{a}	۲۲/۵۱۸^{a}	۱۸/۳۰۲^{c}	۲۱/۳۲۲^{b}	۲۲/۴۹۷^{ab}	۲۲/۸۵۶^{a}	شاخص دقت (٪)

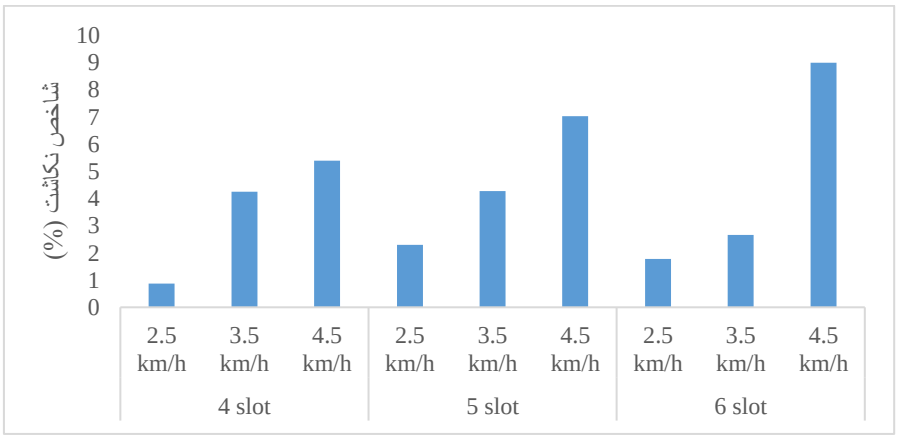
باتوجه به اثرگذار بودن سطوح مختلف سرعت پیشروی بر شاخص دقت (Miller *et al.*, 2012) و همچنین داشتن تأثیر مستقیم آن بر مقدار این شاخص (Li *et al.*, 2015; Dolati & Karparvarfard, 2006) می‌توان گفت، با افزایش سرعت پیشروی، طول فاصلهٔ بین بذور استقرار یافته بر خط کشت افزایش یافته و به تبع آن پراکنش بذور نیز بیشتر می‌شود.

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌های مربوط به شاخص چندکاشتی (جدول ۴) نشان داد که اثر متقابل سرعت پیشروی و نسبت تغییر سرعت دورانی در سطح ۱٪ اثر معنی داری بر شاخص چندکاشتی دارند. نتایج مقایسه میانگین در شکل (۴) نشان دهندهٔ آن است که شاخص چندکاشتی بر اثر متقابل سرعت پیشروی و نسبت تغییر سرعت دورانی دارای اختلاف معنی‌داری می‌باشد. هریک از این عوامل به تنهایی بر روی شاخص چندکاشتی مورد بررسی قرارگرفته‌اند، لذا تأثیر دو به دوی آن‌ها نیز معنی‌دار شده است. همچنین با افزایش سرعت پیشروی در نسبت تغییر سرعت دورانی ثابت میزان شانس ورود بذور به درون شیارها کاهش یافته و لذا شاخص چندکاشتی کاهش یافته است، لذا زمانی که هر دو پارامتر افزایش یابد، شانس ورود بذور به درون شیارها بیشتر نسبت به قبل کاهش یافته لذا این شاخص کاهش یافته است.



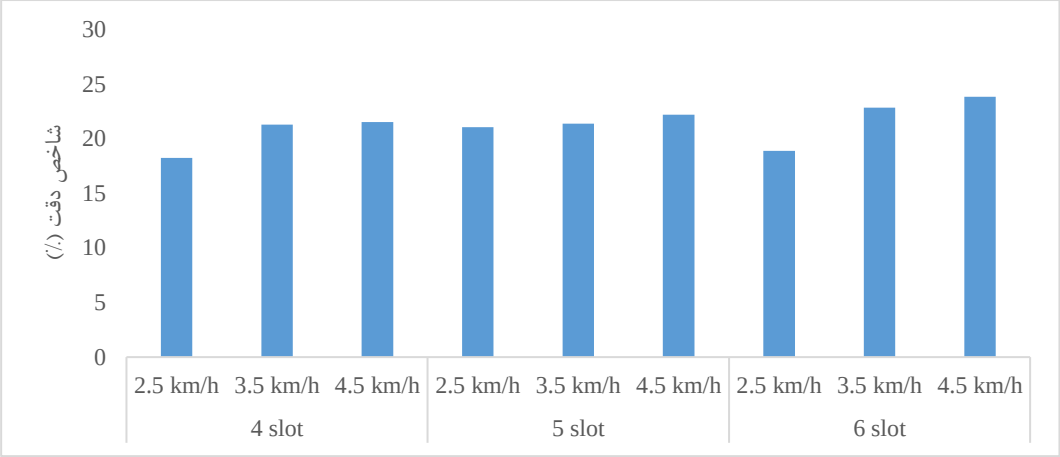
شکل ۴- تأثیر اثر متقابل سرعت پیشروی و نسبت تغییر سرعت دورانی بر شاخص چندکاشتی (P<0/01)

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌های مربوط به شاخص نکاشت (جدول ۴) نشان داد که اثر متقابل تعداد شیار و سرعت پیشروی در سطح ۵٪ اثر معنی داری بر شاخص نکاشت دارند. نتایج مقایسه میانگین در شکل (۵) نشان دهندهٔ آن است که شاخص نکاشت بر اثر متقابل تعداد شیار و سرعت پیشروی دارای اختلاف معنی‌داری می‌باشد. چنانچه تعداد شیار بواسطهٔ تغییرات زاویهٔ دهانهٔ شیارها نتواند تأثیری در مقدار بذور دریافتی از مخزن داشته باشد، لذا روند کای اثر افزایش سرعت بر افزایش شاخص نکاشت بخوبی مشخص می‌باشد. از طرفی افزایش تعداد شیار توأم با افزایش سرعت پیشروی، در واقع منجر به خالی ماندن شیار از بذر دریافتی از مخزن و نهایتاً افزایش شاخص نکاشت شده است.



شکل۵- تأثیر اثر متقابل تعداد شیار و سرعت پیشروی بر شاخص نکاشت (P<0/05)

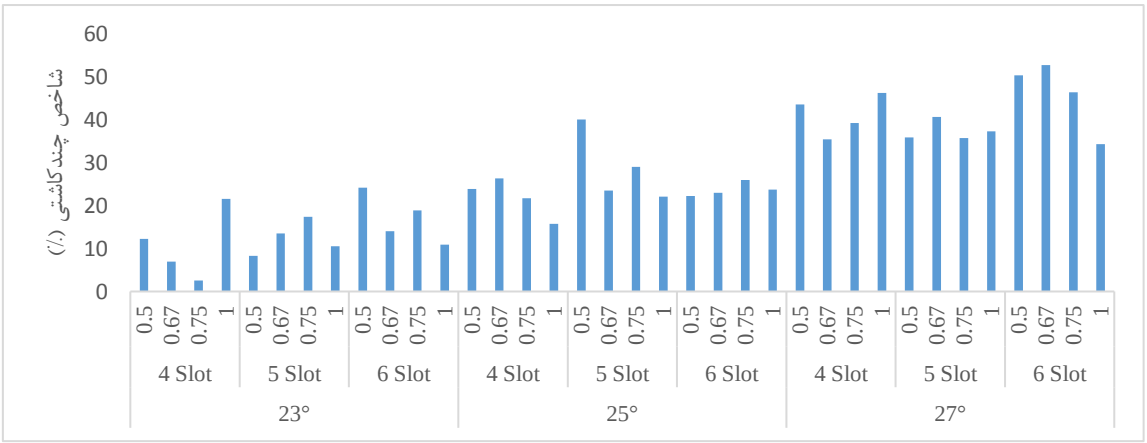
نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌های مربوط به شاخص دقت (جدول ۴) نشان داد که اثر متقابل تعداد شیار و سرعت پیشروی در سطح ۵٪ اثر معنی داری بر شاخص دقت دارند. نتایج مقایسه میانگین در شکل (۶) نشان دهندهٔ آن است که شاخص دقت بر اثر متقابل تعداد شیار و سرعت پیشروی دارای اختلاف معنی‌داری می‌باشد. گرچه افزایش سرعت پیشروی موجب افزایش فاصلهٔ بین بذور روی خط کشت می‌شود، اما اضافه شدن تعداد شیارها می‌تواند عاملی در جهت افزایش شانس بالا رفتن دریافت تعداد بیشتری از بذور برروی موزع باشد، لذا شاخص دقت تحت تأثیر متقابل افزایش تعداد بذور معنی‌دار شده است.



شکل ۶- تأثیر اثر متقابل تعداد شیار و سرعت پیشروی بر شاخص دقت (P<0/05)

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌های مربوط به شاخص چندکاشتی (جدول ۴) نشان داد که اثر متقابل زاویهٔ دهانهٔ شیار، تعداد شیار و نسبت تغییر سرعت دورانی در سطح ۱٪ اثر معنی داری بر شاخص چندکاشتی دارند. نتایج مقایسه میانگین در شکل (۷) نشان دهندهٔ آن است که شاخص چندکاشتی بر اثر متقابل زاویهٔ دهانهٔ شیار، تعداد شیار و نسبت تغییر سرعت دورانی دارای اختلاف معنی‌داری می‌باشد.

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌های مربوط به شاخص کیفیت تغذیه (جدول ۴) نشان داد که اثر متقابل زاویهٔ دهانهٔ شیار، تعداد شیار و نسبت تغییر سرعت دورانی در سطح ۱٪ اثر معنی داری بر شاخص کیفیت تغذیه دارند. نتایج مقایسه میانگین در شکل (۸) نشان دهندهٔ آن است که شاخص کیفیت تغذیه در اثر متقابل زاویهٔ دهانهٔ شیار، تعداد شیار و نسبت تغییر سرعت دورانی دارای اختلاف معنی‌داری می‌باشد. بیشترین مقدار این شاخص مربوط به موزع با زاویهٔ دهانهٔ شیار ۲۳ درجه و ۴ شیاره در نسبت تغییر سرعت دورانی ۰/۶۷ بوده که برابر با مقدار ۹۰/۱ درصد بدست آمده است. همچنین کمترین مقدار شاخص کیفیت تغذیه مربوط به موزعی با زاویهٔ دهانهٔ ۲۷ درجه و تعداد شیار ۶ در نسبت تغییر سرعت دورانی ۰/۶۷ که برابر با ۴۶/۸ درصد بوده، بدست آمده است. باتوجه به نتایج حاصله، هرچه تعداد شیار موزع بیشتر و زاویهٔ دهانهٔ شیارها نیز بیشتر باشد مقدار این شاخص بیشتر خواهد بود، که این امر را می‌توان به افزایش شانس ورود بذر بیشتر بداخل شیارها که تحت تأثیر افزایش زاویه دهانهٔ شیار (عمق قرارگیری بذور) و همچنین افزایش تعداد شیار می‌باشد، نسبت داد.

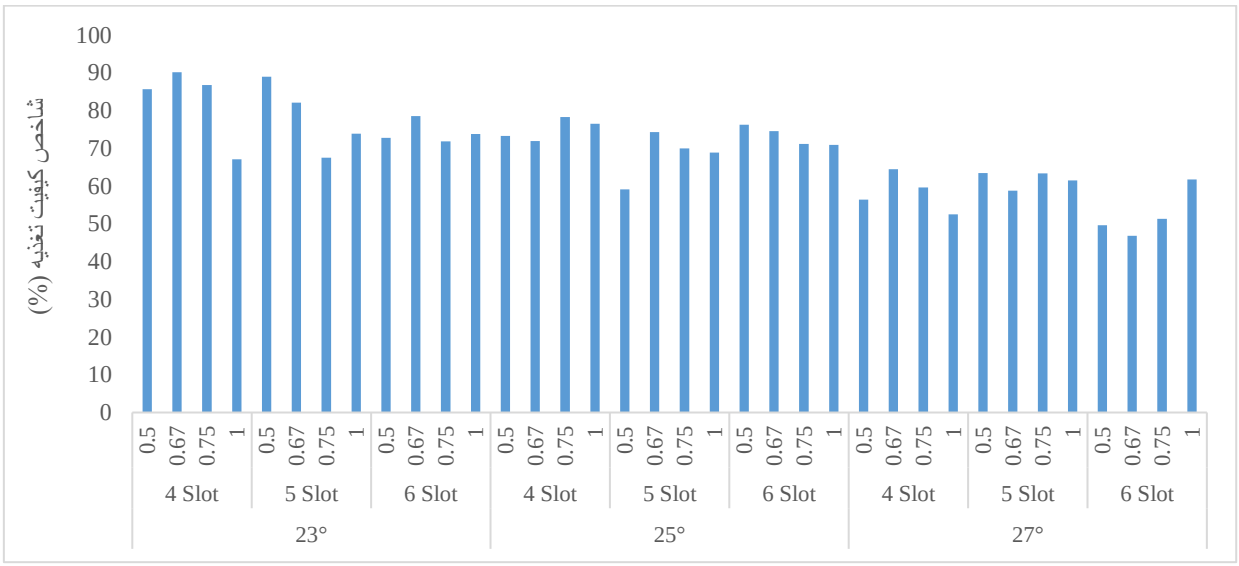


شکل ۷- تأثیر اثرات متقابل زاویهٔ دهانهٔ شیار، تعداد شیار و نسبت تغییر سرعت دورانی بر شاخص چندکاشتی (P<0/01)

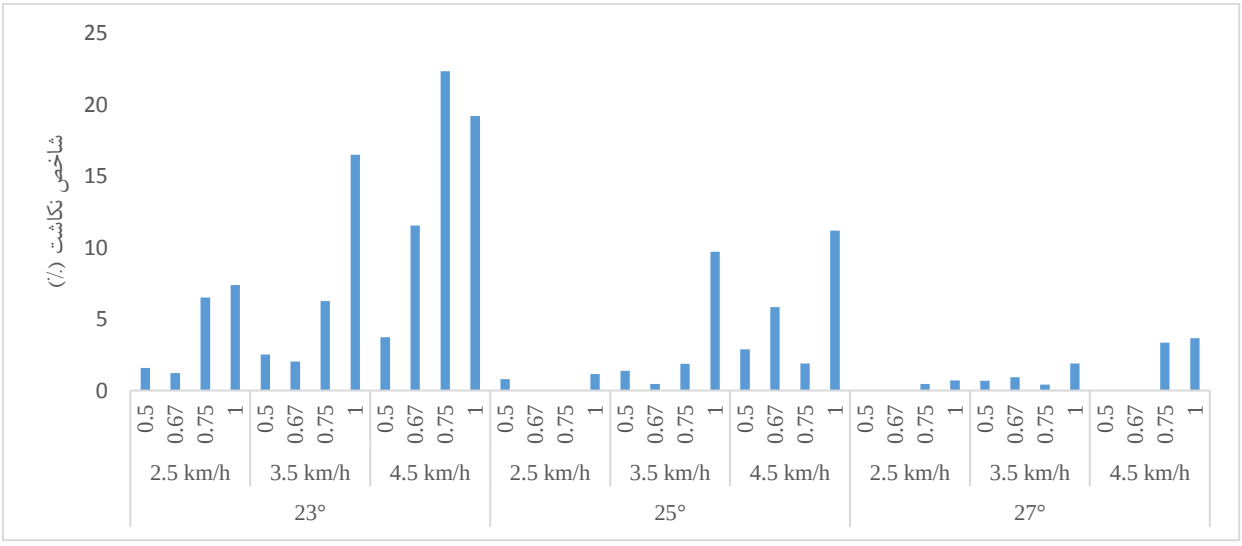
نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌های مربوط به شاخص

نکاشت (جدول ۴) نشان داد که اثر متقابل زاویهٔ دهانهٔ شیار، سرعت پیشروی و نسبت تغییر سرعت دورانی در سطح ۵٪ اثر معنی داری بر شاخص نکاشت دارند. نتایج مقایسه میانگین در شکل (۹) نشان دهندهٔ آن است که شاخص نکاشت در اثر متقابل زاویهٔ دهانهٔ شیار، سرعت پیشروی و نسبت تغییر سرعت دورانی دارای اختلاف معنی‌داری می‌باشد. زاویهٔ دهانهٔ کوچکتر شیار که امکان استقرار بذور در دهانهٔ شیارها را کمتر نموده با افزایش سرعت دورانی امکان دریافت بذور را بیش از پیش کمتر و با افزایش سرعت پیشروی بر طول فاصلهٔ بین بذور و به نوعی بر درصد نکاشت می‌افزاید.

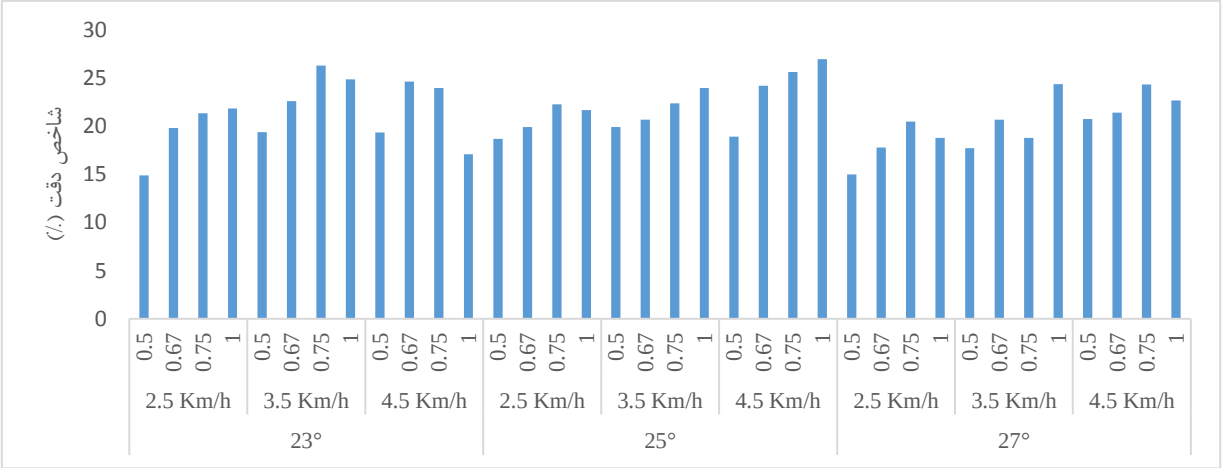
نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌های مربوط به شاخص نکاشت (جدول ۴) نشان داد که اثر متقابل زاویهٔ دهانهٔ شیار، سرعت پیشروی و نسبت تغییر سرعت دورانی در سطح ۵٪ اثر معنی داری بر شاخص دقت دارند. نتایج مقایسه میانگین در شکل (۱۰) نشان دهندهٔ آن است که شاخص دقت در اثر متقابل زاویهٔ دهانهٔ شیار، سرعت پیشروی و نسبت تغییر سرعت دورانی دارای اختلاف معنی‌داری می‌باشد. افزایش سرعت پیشروی موجب افزایش فاصلهٔ بین بذور شده و از طرفی باتوجه به تغییرات ورود بذور بواسطهٔ تغییر در زاویهٔ دهانهٔ شیار، نهایتاً در سرعت‌های دورانی پایین‌تر، مواجه با کاهش در شاخص دقت می‌شویم.



شکل ۸- تأثیر اثرات متقابل زاویهٔ دهانهٔ شیار، تعداد شیار و نسبت تغییر سرعت دورانی بر شاخص کیفیت تغذیه (P<0/01)

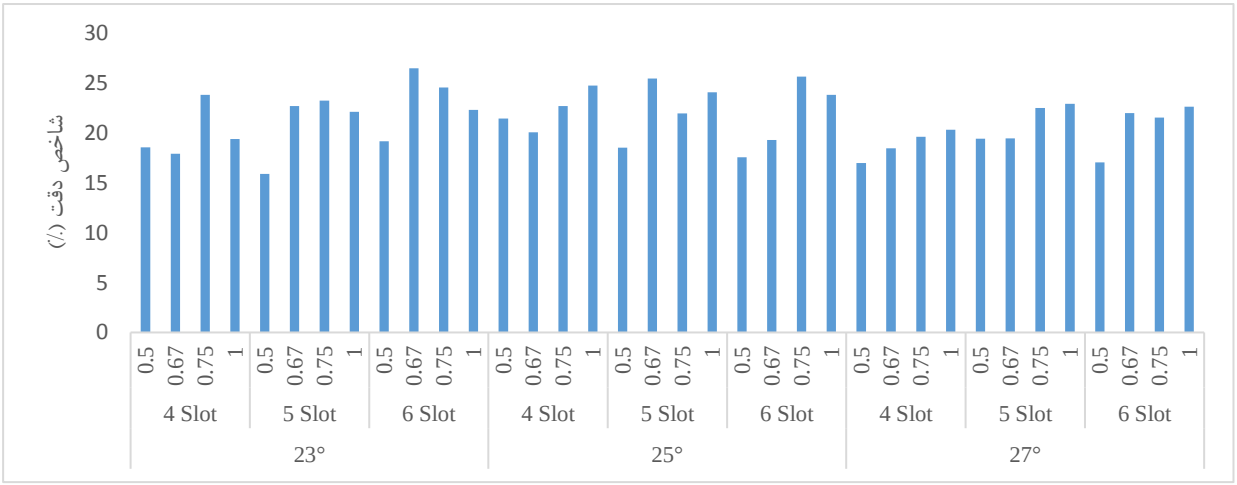


شکل ۹- تأثیر اثر متقابل زاویهٔ دهانهٔ شیار، سرعت پیشروی و نسبت تغییر سرعت دورانی بر شاخص نکاشت (P<0/05)



شکل۱۰- تأثیر اثر متقابل زاویهٔ دهانهٔ شیار، سرعت پیشروی و نسبت تغییر سرعت دورانی بر شاخص دقت (P<0/05)

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌های مربوط به شاخص دقت (جدول ۴) نشان داد که اثر متقابل زاویهٔ دهانهٔ شیار، تعداد شیار و نسبت تغییر سرعت دورانی در سطح ۵٪ اثر معنی داری بر شاخص دقت دارند. نتایج مقایسه میانگین در شکل (۱۱) نشان دهندهٔ آن است که شاخص دقت بر اثر متقابل زاویهٔ دهانهٔ شیار، تعداد شیار و نسبت تغییر سرعت دورانی دارای اختلاف معنی‌داری می‌باشد. تغییرات زاویهٔ دهانهٔ شیار که برروی شاخص کیفیت تغذیه موثر می‌باشد به همراه تغییرات سرعت دورانی به نحوی که کم شدن آن سرعت، زمان دریافت بذور را افزایش داده و لذا افزایش تعداد شیار، شانس استقرار بذور در فواصل مربوط به شاخص کیفیت تغذیه را بالا برده و نهایتاً بصورت شاخص دقت حاصل شده است.



شکل ۱۱- تأثیر اثر متقابل زاویهٔ دهانهٔ شیار، تعداد شیار و نسبت تغییر سرعت دورانی بر شاخص دقت (P<0/05)

مقادیر بهینهٔ تیمارهای اعمال شده

برای بدست آوردن حالت بهینهٔ تیمارهای اعمال شده در آزمایش به منظور تأمین حداکثری کیفیت تغذیه و حداقلی شاخص‌های چندکاشتی، نکاشت و دقت جهت استفاده از موزع غلتکی شیاردار، معادله‌های رگرسیون خطی چند متغیره مورد استفاده قرار گرفت. در هر یک از این معادله‌ها، تیمارهای اعمال شده به عنوان متغیر وابسته و شاخص‌های ارزیابی شده به عنوان متغیرهای مستقل انتخاب شدند. در شکل عمومی معادله‌ها C_1، C_2، C_3 و C_4 ضرایب شاخص‌ها و C_5 بیانگر عرض از مبدأ هستند که برای هریک از تیمارهای اعمال شده با استفاده از نرم‌افزار SAS بدست آمدند (جدول ۶).

معادلهٔ عمومی جهت بدست آوردن حالت بهینهٔ تیمارهای انتخاب شده در آزمایش به صورت معادلهٔ (۶) پیشنهاد گردید.

(رابطه ۶)

(تغذیه کیفیت×C_2) + (چندکاشتی×C_1) = بهینه تیمار مورد نظر + (نکاشت×C_3) + (دقت×C_4) + C_5

با استفاده از ضرایب بدست آمده حاصله از نرم‌افزار و همچنین جداول مقایسه میانگین، مناسب‌ترین حالت مربوط به هریک از شاخص‌ها انتخاب و با قرار دادن در معادله (۶) مقادیر بهینهٔ تیمارهای اعمال شده بدست آمد. بهینه زاویهٔ دهانهٔ شیار ۲۴/۵ درجه، تعداد شیار ۵، سرعت پیشروی ۳/۵ کیلومتر بر ساعت و نسبت تغییر سرعت دورانی ۰/۶۷ که در سرعت ۳/۵ کیلومتر بر ساعت معادل با ۵۲ دور در دقیقه برای چرخش محور موزع است، محاسبه شد.

جدول ۶- ضرایب بدست آمده از رگرسیون چند متغیره

	ضرایب معادله‌های رگرسیون				
تیمار	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5
زاویهٔ دهانهٔ شیار	۰/۰۲۱۴	-۰/۰۴۶۷	-۰/۰۷۸۹	-۰/۰۱۱	۲۸/۲۴۶
تعداد شیار	-۰/۰۲۱	-۰/۰۲۸۶	-۰/۰۱۸۴	۰/۰۱۶۴	۷/۲۶۵۶
نسبت تغییر سرعت دورانی	۰/۱۱۸۰	۰/۱۱۵۶	۰/۱۵۹۴	۰/۰۳۱۲	-۱۱/۷۸
سرعت پیشروی	۰/۰۷۸۲	۰/۰۷۱۴	۰/۱۰۶۱	۰/۰۵۵۵	-۴/۴۷۶

نتیجه‌گیری

گرچه معمولاً از طرح موزع‌های شیاردار در کشت خطی‌کارها استفاده می‌شود، اما با رعایت عوامل ارائه شده در این پژوهش، می‌توان این نوع موزع را در کشت ردیفی بذر ذرت در شرایط آزمایشگاهی نیز بکار برد. به عبارت دیگر جایگزینی این روش کشت مکانیکی به جای نیوماتیکی موجب حذف سیستم PTO در چرخه‌ی تأمین نیروی مکش مورد نیاز جهت بذرکاری می‌شود.

همچنین با توجه به اینکه سرعت دورانی موزع غلتکی بر میزان دبی خروجی بذر تأثیر مستقیم دارد و نهایتاً مقدار صدمه و آسیب‌پذیری بذر را تحت تأثیر قرار می‌دهد، با اندازه‌گیری‌های بعمل آمده به ازاء مقدار سرعت پیشروی ۳/۵ کیلومتر بر ساعت و سرعت دورانی ۵۲ دور بر دقیقه، میزان شکست بذر در حدود ۵/۶٪ بدست آمد.

با مشاهده نتایج حاصله می‌توان موزع غلتکی شیاردار برای کشت ذرت را بطور قابل اعتمادی در سطوح بهینه زاویهٔ دهانهٔ شیار، تعداد شیار، سرعت پیشروی و سرعت دورانی محور موزع پیشنهاد داد. شواهد آماری نیز بیانگر قابل قبول بودن شاخص‌های ارزیابی شده در این پژوهش می‌باشد.

REFERENCES

Amiriyan, A., Rezaei Asl, A., & Esmailzadeh, E. (2017). Fabrication and evaluation of pressurized metering drum performance (equipped with a mechanical separator) by grease belt. *Iranian Journal of Biosystems Engineering*, 40(3), 271-278. (In Farsi)

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 Farsi)

Dolati, M., & Karparvarfard, S. H. (2006). Design, Development & Evaluation of a Penumatic Punch Planter for Corn Planting. *Iranian Journal of Agriculture* S*cience, 37(2), 193*-204. (In Farsi)

Hassan Yasir, S., Liao, Q., Yu, J., & He, D. (2012). Design and test of a pneumatic precision metering device for wheat. *Agriculture Engineering International: CIGR Journal*, 14(1).

Li, Y., Xiantao, H., Tao, C., Dongxing, Z., Song, S., Rui, Z., & Mantao, W. (2015). Development of mechatronic driving system for seed meters equipped on conventional precision corn planter. *International Journal Agriculture & Biologic Engineering*, 8(4).

Mohsenin, N. N. (1983). *Physical properties of plant & animal materials*. Gordon Breach Sci. Press. New York. USA.

Mondani, A., & Karparvarfard, S. H. (2016). Development and field evaluation of an intercropping machine for corn & bean. *Journal of Agriculture Machinary*, 6(2), 283-297. (In Farsi)

Omidi, A., & Karparvarfard, S. H. (2009). Field Evaluation of a Precision Punch Planter Equipped with Seed Plate Metering Device and Fertilizer Unit for Corn Planting. *Iranian Journal of Biosystems Engineering*, 40(1), 35-44. (In Farsi)

Pinter, L., Nemeth, J., & Szirbik, M. (1978). Trend of grain yield in maize: Hybrids as a function of plant number per unit area & sowing uniformity. *Agronomics Hunaricae*, 27, 389-404.

Rebati, J., & Zareian, S. (2003). Design Construction and Labotaroty Evaluation of A Roller Metering Device For Hill Dropping. *Journal of Agriculture Science*, 13(4), 75-85. (In Farsi)

Singh, R. C., Singh, G., & Saraswat, D. C. (2005). Optimization of Design and Operational Parameters of a Pneumatic Seed Metering Device for Planting Cottonseeds. *Biosystem Engineering*, 92(4), 429-438.

Srivastava, A. K., Goering, C. Rohrbach, R. & Buckmaster, D. (2006). *American Society of Agriculture and Biological Engineers*. Michigan.

Yazgi, A., & Degirmencioglu, A. (2014). Measurement of seed spacing uniformity performance of a precision metering unit as function of the number of holes on vacuum plate. *Measurement*, 51, 128-135.