

طراحی، ساخت و ارزیابی موزع تسمه‌ای کاشت سیب‌زمینی

محمد جواد دری اسفریزی^۱، مهنوش جعفری^{۱*}، علی اسحق بیگی^۱

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۹/۱۴

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۷/۱۹

۱- گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران

E-mail: m.jafari@iut.ac.ir

* مسئول مکاتبه

چکیده

سیب‌زمینی از نظر حجم تولید در بین محصولات مختلف کشاورزی بعد از گندم، برنج و ذرت در رده چهارم قرار دارد. کارنده‌های سیب‌زمینی موجود در کشور بدون در نظر گرفتن اندازه سیب‌زمینی آن‌ها را در فاصله ثابتی روی خط کاشت می‌کارند که منجر به توزیع ناهمگن ساقه در سطح مزرعه می‌شود. هدف از تحقیق حاضر، طراحی، ساخت و ارزیابی یک موزع کارنده تسمه‌ای برای کاشت سیب‌زمینی است. در این نوع کارنده، از گروهی تسمه به منظور دریافت، انتقال و کاشت سیب‌زمینی استفاده می‌شود. در ابتدا سیب‌زمینی‌ها از مخزن بر روی تسمه‌های کاشت میانی دستگاه می‌افتند. تسمه‌های بازگرداننده که در جهت عکس تسمه‌های میانی حرکت می‌کنند، سیب‌زمینی‌های اضافی که توسط تسمه‌های میانی به کناره‌ها هدایت شده‌اند را به اول مسیر برمی‌گردانند تا تسمه‌های میانی مجدداً آن‌ها را بارگیری نمایند. در این پژوهش، ارزیابی موزع صرفاً در محیط آزمایشگاه و به کمک تست ریگ انجام شد. اثر سرعت خطی موزع، سرعت خطی تست ریگ، اندازه و شکل سیب‌زمینی (گرد و کشیده) بر شاخص‌های کیفی کاشت با آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار ارزیابی شد. یافته‌ها نشان داد که میانگین فواصل کاشت، انحراف معیار، شاخص‌های چندکاشتی، نکاشت و کیفیت تغذیه به طور معنی‌دار به سرعت موزع، سرعت تست ریگ، اندازه سیب‌زمینی و شکل سیب‌زمینی بستگی دارند. با افزایش سرعت حرکت تسمه نقاله تست ریگ، فاصله بین غده‌ها در ردیف کاشت و شاخص نکاشت به ترتیب به مقدار ۴/۲۱ و ۱۷/۶۹ درصد افزایش یافت. در عین حال مقدار کاهش در شاخص کیفیت تغذیه و شاخص چندکاشتی به ترتیب برابر با ۷/۷۸ و ۱۰ درصد گزارش شد.

واژه‌های کلیدی: دقت، شاخص کیفیت تغذیه، ضریب شکل، موزع، میانگین فواصل کاشت

Design, Development, and Evaluation of a Belt Metering Device for Potato Planter

Mohammad Javad Dorri Esfarizi¹, Mehrnoosh Jafari¹, Ali Eshaghbeygi¹

Received: 11 Oct 2022

Accepted: 5 Dec 2022

1-Department of Biosystems Engineering, College of Agriculture, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran

*Corresponding author: E-mail: m.jafari@iut.ac.ir

Abstract

Potato ranks 4th in terms of production volume among various agricultural products after wheat, rice and corn. Potato planters, usually plant seed potatoes at a constant distance regardless of their size which leads to a heterogeneous distribution of stems at field. The main aim of this research was to design, develop and evaluate a special potato belt metering device. Belt planters use a group of belts to receive, deliver and plant potatoes. In this type of planters, the potatoes first fall from the hopper onto the middle of the planting belts. Return belts move in the opposite direction and guide the extra potatoes to the beginning of the path to be used for reloading by the middle belts. In this study, the evaluation of the metering device was performed in the laboratory with the use of a test rig. A factorial experiment conducted in a completely randomized design with 3 replicates to investigate the effect of the forward speed of planting belts and test rig, potato sizes and potato shapes on the mean planting distance, standard deviation, multiple planting index, miss and quality of feed indices and the accuracy. Results indicated that the mean seed spacing, standard deviation, multiple planting index, miss and quality of feed indices were significantly depend on the planting belts and test rigs forward speeds, potato size and shape. With the increase in the forward speed of the test rig, the mean seed spacing and miss index increased by 4.21 and 17.69%, respectively, while the amount of reduction in the feeding quality and multiple planting index were equal to 7.78 and 10%, respectively.

Keywords: Precision, Feed quality index, Shape ratio, Metering mechanism, Mean planting distance

How to cite:

Dorri Esfarizi MJ, Jafari M, Eshaghbeygi A. 2022. Design, Development, and Evaluation of a Belt Metering Device for Potato Planter. *Journal of Agricultural Mechanization* 7 (2): 39-48.

۱- مقدمه

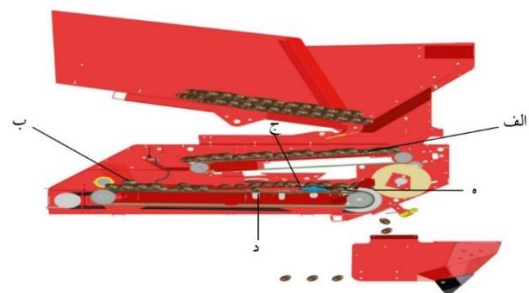
در این نوع کارنده مخزن توسط یک سیلندر هیدرولیک از حالت افقی و موازی با زمین به حالت شیب‌دار درمی‌آید. ایجاد شیب باعث شده سیب‌زمینی‌ها از مخزن به روی تسمه نقاله تغذیه بغلتند (شکل ۱ قسمت الف)). تسمه نقاله تغذیه به صورت مقطعی سیب‌زمینی‌ها را بر روی تسمه‌های باریک و پهن می‌ریزد (شکل ۱ قسمت ب)). تسمه‌های باریک نسبت به هم به نحوی قرار گرفته‌اند که یک خط تک‌غده‌ای مداوم از سیب‌زمینی‌ها را ایجاد کنند و برای کاشت به سمت غلتک اسفنجی حرکت دهند (شکل ۱ قسمت ج)). سیب‌زمینی‌های اضافی که توسط تسمه‌های باریک به کناره‌ها هدایت می‌شوند، به کمک دو تسمه پهن به اول مسیر برگشته تا مجدداً توسط تسمه‌های باریک بارگیری شوند (شکل ۱ قسمت د)). پس از اینکه سیب‌زمینی‌ها به غلتک اسفنجی رسیدند، مابین غلتک و تسمه‌های باریک تحت فشار قرار گرفته و به داخل شیار ایجاد شده در خاک می‌افتند (شکل ۱ قسمت ه)). (Anonymous, 2015).

Peter (1990) معیارهای ارزیابی عملکرد سیب زمینی کارها را تحت عنوان کارایی مزرعه‌ای و کیفیت کار مشخص کرد و نشان داد که عواملی مانند پارامترهای عملکردی کارنده، شکل و اندازه غده سیب زمینی بر شاخص‌های عملکردی تاثیرگذارند. پژوهشگران متعددی اثر عواملی مانند سرعت پیشروی یا سرعت چرخش موزع، نوع وارپته، اندازه و شکل سیب‌زمینی را بر تغییر فاصله غده یا دقت کاشت، درصد تک‌کاشتی، چندکاشتی، نکاشت و غده‌های آسیب دیده بررسی کرده‌اند (Zheng et al., 2021). در رابطه با موزع‌های تسمه‌ای پژوهش‌ها محدود بوده و می‌توان به عنوان نمونه به پژوهشی که در آن تأثیر سه نوع کارنده سیب‌زمینی مختلف (موزع تسمه‌ای، موزع تسمه‌ای پیاله‌دار و موزع افقی)، سه سرعت پیشروی (۳/۶، ۴/۸ و ۶ کیلومتر بر ساعت) و دو اندازه غده (۳۵-۴۵ و ۴۵-۵۵ میلی‌متر) را بر درصد جوانه‌های آسیب دیده، عملکرد سیب‌زمینی (تن در هکتار) و تعداد ساقه‌ها در متر مربع بررسی شد، اشاره نمود. یافته‌ها نشان داد که افزایش سرعت پیشروی موجب افزایش آسیب به جوانه‌های سیب‌زمینی شد. موزع تسمه‌ای به نسبت موزع تسمه‌ای پیاله‌دار، به جوانه‌های کوچک و بزرگ غده‌های سیب‌زمینی به ترتیب ۳۰/۵ و ۱۹/۴ درصد آسیب کمتری وارد کرد. عملکرد سیب‌زمینی‌های کاشته شده با موزع تسمه‌ای ۱/۲ تا ۲/۸ تن در هکتار و نیز تعداد ساقه‌ها در هر متر مربع یک تا پنج عدد بیشتر از دو موزع دیگر بود که دلیل آن را آسیب کم‌تر موزع تسمه‌ای به جوانه‌های سیب‌زمینی ذکر کرده‌اند (Meijer & Frederiks, 1975). با در نظر گرفتن مزایایی از قبیل امکان تغییر فاصله کاشت با توجه به اندازه غده، عدم نیاز به لوله سقوط و در نتیجه رها سازی غده نزدیک‌تر به سطح زمین، کاهش آسیب به غده‌ها همزمان با افزایش سرعت کاشت، هدف پژوهش حاضر بر طراحی و ساخت یک واحد کارنده تسمه‌ای قرار گرفت. به منظور تعیین سرعت بهینه تسمه‌های کاشت و بازگرداننده، سرعت پیشروی کارنده و اندازه مناسب غده، عملکرد موزع تسمه‌ای ساخته شده، به کمک تست ریگ ارزیابی شد.

سیب‌زمینی در اکثر نواحی جهان و در محدوده عرض جغرافیایی ۶۵ درجه شمالی تا ۴۵ درجه جنوبی و تا ارتفاع بیش از ۳۵۰۰ متر از سطح دریا کاشت می‌شود. این گیاه در ایران تقریباً در تمام نواحی و تا ارتفاعی حدود ۲۵۰۰ متر از سطح دریا کشت می‌شود (Khajepoor, 2004). با توسعه ماشین‌های سیب‌زمینی‌کار، کاشت سیب‌زمینی با دست که عملی زمان‌بر و پر زحمت است، با کارنده‌ها جایگزین شده است. در دستگاه‌های کارنده ابتدا شیار درون خاک باز می‌شود، سیب‌زمینی‌ها در فواصل معین درون شیار قرار داده شده و کود شیمیایی در کنار و زیر سطح غده ریخته می‌شود. در نهایت روی بذر و کود شیمیایی پوشانده خواهد شد. در بیشتر زراعت‌های بزرگ، سیب‌زمینی به وسیله سیب‌زمینی‌کارهای دو، سه یا چهار ردیفه کاشت می‌شوند. سیب‌زمینی‌کارها در انواع سوار و کششی ساخته می‌شوند. در انواع کششی، چرخ‌های حمل‌کننده مکانیزم موزع را به حرکت در می‌آورند. دستگاه‌های کاشت سیب زمینی خودکار غالباً فرکانس کاشت ۱۶۰ تا ۲۰۰ غده در دقیقه، سرعت حرکت ۴ تا ۶ کیلومتر در ساعت و ظرفیت کاری ۲ تا ۸ هکتار در روز را دارند (Ebubekir, 2005).

سیب‌زمینی کارها بر اساس نوع مکانیزم کارنده یا موزع به شش نوع طبقه‌بندی می‌شوند که عبارتند از: موزع افقی، موزع چنگ‌دار بلندکن، موزع انگشتی، موزع زنجیری یا تسمه‌ای پیاله‌دار، موزع نیوماتیکی و موزع تسمه‌ای (Mansouri-Rad, 2002).

موزع‌های تسمه‌ای که در کارنده‌های خودکار سیب‌زمینی بکار می‌روند از تعدادی تسمه باریک (تسمه‌های کاشت)، تعدادی تسمه پهن (تسمه‌های بازگرداننده) و یک غلتک اسفنجی تشکیل شده‌اند (شکل ۱).



شکل ۱- موزع تسمه‌ای مدل GB شرکت گریمه آلمان،

الف-ریزش سیب زمینی‌ها از مخزن، ب-تسمه‌های پهن و باریک، ج- تشکیل خط تک غده‌ای، د-بازگشت سیب زمینی‌ها به ابتدای ردیف و ه- تماس با غلتک اسفنجی و سقوط در شیار کاشت (Anonymous, 2015)

Fig 1. Belt-type seed metering device, GB model, Grime, Germany,
a) falling potatoes from the tank, b) wide and narrow belts, c) formation of a single tuber line, d) return of potatoes to the beginning of the row and e) contact with the spongy roller and falling in the planting furrow

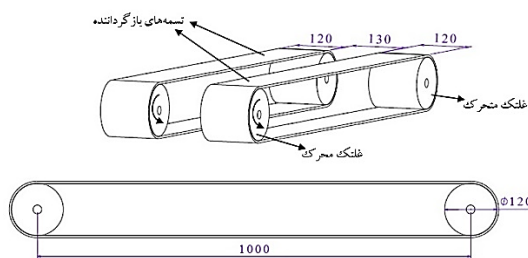
استفاده از ورق فولادی به ابعاد ۳۰×۱۴۰ میلی متر مربع با ضخامت ۲ میلی متر ساخته شد.

۲-۲- طراحی و ساخت شاسی

شاسی به عنوان در برگیرنده قطعات دستگاه محسوب شده و وظیفه دارد تا ضمن در کنار هم نگه داشتن سایر اجزای دستگاه، از حرکت‌های اضافی و ارتعاشات ناخواسته ناشی از دوران قطعات متحرک، جلوگیری نماید. شاسی شامل دو قسمت صفحات طولی و پایه‌ها است. برای ساخت صفحات طولی و پوشاننده زنجیر، از سه ورق فولادی با ابعاد ۱۵۰×۳۵۰ میلی متر و با ضخامت ۲ میلی متر استفاده شد. پایه‌ها نیز از قوطی با ابعاد ۴۰×۴۰ میلی متر مربع ساخته شدند تا سبک و قوی بوده و با فرآیند جوشکاری قوس الکتریکی به سادگی تولید شوند.

۲-۳- طراحی تسمه‌های بازگرداننده

تسمه‌های بازگرداننده غده از تسمه نقاله پارچه‌ای با پوشش لاستیک که تحت عنوان منجیدی شناخته می‌شوند با ضخامت ۵ میلی متر ساخته شدند. با توجه به اینکه بزرگ‌ترین بُعد سیب‌زمینی‌های مورد استفاده ۶ سانتی متر بود، پهنای هر یک از تسمه‌ها برابر ۱۲ سانتی متر انتخاب شد. غلتک محرک و متحرک از جنس تفلون و با قطر ۱۲ سانتی متر ساخته شدند. فاصله دو غلتک از هم ۱ متر بود و در یک صفحه نصب شدند (Meijer & Frederiks, 1975). شکل ۳ نمونه طراحی شده تسمه‌های بازگرداننده غده در نرم‌افزار کتیا را نشان می‌دهد. برای شرایطی که دو غلتک محرک و متحرک دارای قطر یکسان هستند، طول تسمه به کمک رابطه ۳ محاسبه شد و تسمه به منظور تنظیم کشش به طول $۲/۴$ متر، کمی بیش‌تر از مقدار به دست آمده از رابطه ۳ در نظر گرفته شد (Shigley et al., 2011).



شکل ۳- تسمه‌های بازگرداننده طراحی شده به همراه غلتک‌ها در نرم‌افزار کتیا (اندازه‌ها به میلی‌متر هستند)

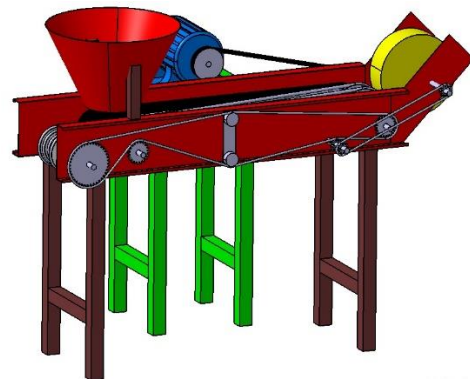
Fig 3. Designed return belts with rollers in Catia software (dimensions are in millimeters)

$$L = 2C + \pi D \quad (3)$$

در رابطه ۳، L طول تسمه، C فاصله مراکز دو غلتک و D قطر غلتک است.

۲- مواد و روش‌ها

اجزاء اصلی واحد کارنده تسمه‌ای عبارتند از: ۱- مخزن، ۲- شاسی، ۳- تسمه نقاله‌های بازگرداننده، ۴- تسمه‌های کاشت، ۵- غلتک‌های محرک و متحرک، ۶- غلتک اسفنجی و ۷- مکانیزم انتقال قدرت. کارنده‌های تسمه‌ای از نظر ساختار، ساده بوده و اندازه کوچکی دارند، در عین حال درصد آسیب به غده در این دسته از کارنده‌ها کم و سازگار با شکل‌ها و اندازه متفاوت سبب زمینی‌ها می‌باشند. شکل ۲، نمای کلی موزع به همراه الکتروموتور طراحی شده در نرم‌افزار کتیا را نشان می‌دهد. در ادامه، مراحل طراحی و ساخت هر یک از اجزاء کارنده تسمه‌ای توضیح داده شده است.



شکل ۲- نمای کلی موزع به همراه الکتروموتور، طراحی شده با نرم‌افزار کتیا

Fig 2. Overview of the metering device with an electric motor, designed by Catia software

۲-۱- طراحی و ساخت مخزن

مخزن به فرم مخروط ناقص در نظر گرفته شد تا جریان بذر از آن به صورت آزادانه صورت پذیرد. حجم مخزن به کمک روابط ۱ و ۲ محاسبه شد (Malik et al., 2017):

$$V_b = 1.1V_s \quad (1)$$

$$V_s = \frac{W_s}{Y_s} \quad (2)$$

که در این معادلات V_b ، حجم مخزن برحسب متر مکعب، V_s حجم بذر داخل مخزن بر حسب متر مکعب، W_s جرم بذر درون مخزن برحسب کیلوگرم و Y_s چگالی توده بذر بر حسب کیلوگرم بر متر مکعب است. با در نظر گرفتن میانگین چگالی توده سیب‌زمینی به مقدار ۶۵۰ کیلوگرم بر مترمکعب (Mandloi et al., 2015) و گنجایش ۸۵ کیلوگرم بذر درون مخزن، حجم مخزن سیب‌زمینی به کمک رابطه ۱، به مقدار $۰/۱۳۰$ متر مکعب تخمین زده شد. بنابراین، مخزنی به شکل مخروط ناقص با ارتفاع ۳۰۰ میلی متر و قطر دهانه خروجی ۲۰۰ میلی متر و زاویه شیب ۳۰ درجه نسبت به خط عمود، طراحی و ساخته شد (Bejaee, 2013). با توجه به اینکه بزرگ‌ترین بُعد سیب‌زمینی‌ها ۶۰ میلی متر بود، قطر دهانه خروجی مخزن ۲۰۰ میلی متر انتخاب شد، تا بزرگ‌تر از سه برابر بزرگ‌ترین بُعد سیب‌زمینی‌ها باشد. مخزن با

می‌شود (Nazer, 2012).

$$P_m = \frac{\mu X g Q \times 1000}{3600} \quad (6)$$

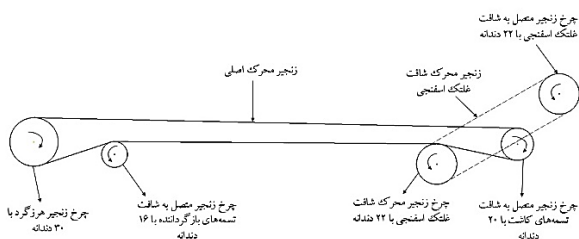
که در آن P_m توان لازم برای انتقال سیب‌زمینی‌ها (وات)، μ ضریب اصطکاک ایستایی، X مسافت انتقال (متر)، g شتاب جاذبه (۹/۸۱ متر بر مجذور ثانیه) و Q ظرفیت دستگاه (تن بر ساعت) است. با توجه به ابعاد و اندازه قطعات، توان کل مورد نیاز برای رانش تسمه برابر با ۳۶/۹ وات محاسبه شد. اما از آنجاکه ضریب ایمنی، بیش باری ناگهانی، گشتاور شروع و افت توان در مسیر باید لحاظ گردد، بنابراین توان مورد نیاز باید حداقل دو برابر مقدار توان محاسبه شده در نظر گرفته شود. توان لازم برای رانش تسمه‌های کاشت نیز ۱۹/۵۴ وات تخمین زده شد.

۲-۶- طراحی و ساخت غلتک اسفنجی

غلتک اسفنجی برای منظم شدن خط کاشت غده‌ها بکار می‌رود و کمی آهسته‌تر از تسمه‌های کاشت می‌چرخد. سیب‌زمینی‌های بزرگ‌تر، مدت زمانی که بین تسمه‌ها و غلتک اسفنجی قرار دارند کمی بیشتر از غده‌های کوچک‌تر بوده و دیرتر در شیار کشت می‌افتند، بنابراین، غلتک اسفنجی به ایجاد فضای بهینه برای رشد سیب‌زمینی‌ها کمک می‌کند و در نهایت منجر به توزیع بهینه ساقه در سطح مزرعه می‌گردد (Anonymous, 2021).

۲-۷- طراحی اجزاء انتقال قدرت

به منظور تغییر در جهت چرخش تسمه‌های کاشت و تسمه‌های بازگرداننده و غلتک اسفنجی، از انتقال توان زنجیری استفاده شد. این سامانه علاوه بر هزینه ساخت کم نسبت به نمونه چرخنده‌ای، به دلیل ساده بودن مکانیزم و عدم نیاز به محفظه روغن انتخاب گردید. شکل ۵، مسیر انتقال توان به همراه تعداد دندان‌های هر یک از چرخ زنجیرها را نشان می‌دهد. در این طرح الکتروموتور در طرف چپ شاسی نصب شد. توان الکتروموتور با استفاده از تسمه و پولی به محور متصل به غلتک محرک کاشت، انتقال می‌یافت.



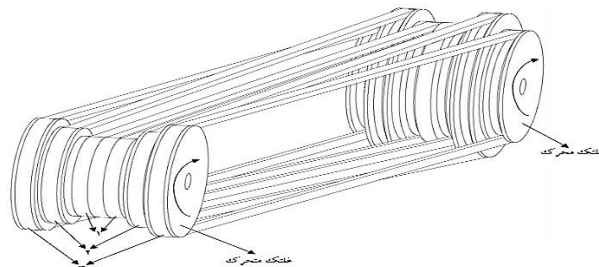
شکل ۵- انتقال توان در موزع تسمه‌ای

Fig 5. Power transmission in belt-type seed metering device

توان الکتروموتور در طرف راست شاسی، به کمک چرخ زنجیر و زنجیری که به محور پولی محرک تسمه‌های کاشت متصل بود به سایر

۲-۴- طراحی تسمه‌های کاشت

از تسمه‌های V شکل سری A به عنوان تسمه‌های کاشت استفاده شد. تسمه‌های V شکل با سطح مقطع‌های متفاوتی ساخته می‌شوند که نوع A از نظر اندازه و ابعاد مقطع، جزء کوچک‌ترین تسمه‌های V شکل تولیدی محسوب می‌شود و با تسمه‌های دایره‌ای به کار رفته در نمونه تجاری بیشترین هماهنگی را دارد. قطر پولی‌ها به نحوی انتخاب شد که در ابتدای بارگیری، تسمه‌های کاشت پایین‌تر از تسمه‌های بازگرداننده باشند و در ادامه، ضمن هم‌پوشانی با تسمه‌های بازگرداننده، در طی مسافتی حدود یک متر، خط تک غده‌ای مداوم از سیب‌زمینی‌ها را برای کاشت، به غلتک اسفنجی برساند. شکل ۴ نمونه طراحی شده تسمه‌های کاشت در نرم‌افزار کتیا را نشان می‌دهد که در این شکل، تسمه‌های مشابه، با عدد یکسانی شماره‌گذاری شده‌اند.



شکل ۴- تسمه‌های کاشت طراحی شده به همراه غلتک‌ها در نرم‌افزار کتیا

Fig 4. Designed planting belts with rollers in Catia software

۲-۵- محاسبه توان مورد نیاز برای حرکت تسمه‌های

بازگرداننده و تسمه‌های کاشت

توان مورد نیاز برای رانش تسمه‌های بازگرداننده از دو بخش تشکیل شده است: الف) توان لازم برای رانش تسمه خالی و ب) توان لازم برای انتقال سیب‌زمینی‌ها به ابتدای مسیر. توان لازم برای رانش تسمه در حالت بدون بار، با معلوم بودن جرم تسمه، ضریب اصطکاک ایستایی بین تسمه و غلتک محرک و سرعت حرکت تسمه تعیین می‌گردد و از رابطه ۴ به دست می‌آید.

$$P_e = \mu m_p g v \quad (4)$$

که در آن P_e توان لازم برای رانش تسمه در حالت بدون بار (وات)، μ ضریب اصطکاک ایستایی، m_p جرم کل اجزای در حال حرکت (کیلوگرم)، g شتاب جاذبه (۹/۸۱ متر بر مجذور ثانیه) و v سرعت تسمه (متر بر ثانیه) است. وزن تسمه از رابطه ۵ به دست می‌آید.

$$m_b = \rho_b w_b t_b l_b \quad (5)$$

که در آن ρ_b چگالی تسمه (کیلوگرم بر متر مکعب)، w_b پهنای تسمه (متر)، t_b ضخامت تسمه (متر) و l_b طول تسمه (متر) است. توان لازم برای انتقال سیب‌زمینی‌ها به ظرفیت دستگاه و ضریب اصطکاک ایستایی بین تسمه و غلتک محرک بستگی دارد و از رابطه ۶ محاسبه

ناحیه تقسیم‌بندی شدند که به صورت زیر هستند و به ترتیب از چپ به راست از ناحیه یک تا پنج نام‌گذاری می‌شوند:

$$[0, 0.5x_{ref}], (0.5x_{ref}, 1.5x_{ref}], (1.5x_{ref}, 2.5x_{ref}], (2.5x_{ref}, 3.5x_{ref}], (3.5x_{ref}, \infty)$$

۲-۹-۱- میانگین فاصله

میانگین فواصل بین غده‌ها (\bar{x})، برابر است با:

$$\bar{x} = \sum_{i=1}^N \frac{x_i}{N} \quad (10)$$

که x_i فاصله بین غده i تا غده بعدی بر روی یک ردیف و N تعداد تمام فواصل اندازه‌گیری شده است.

۲-۹-۲- انحراف معیار

انحراف معیار فواصل غده‌ها (s)، برابر است با:

$$s = \sqrt{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2 / N - 1} \quad (11)$$

هر چه فواصل یکنواخت‌تر باشد، انحراف معیار به صفر نزدیک‌تر خواهد بود.

۲-۹-۳- شاخص چند کاشتی

شاخص چندکاشتی (D)، درصد فواصل کاشت کم‌تر یا مساوی با نصف فاصله نظری بوده و با استفاده از رابطه ۱۲ محاسبه می‌گردد:

$$D = \frac{n_1}{N} \times 100 \quad (12)$$

که در آن n_1 تعداد فواصل در اولین ناحیه است.

۲-۹-۴- شاخص نکاشت

شاخص نکاشت (M)، برابر است با درصد فواصلی که از $1/5$ برابر فاصله نظری بیش‌تر است و با استفاده از رابطه ۱۳ محاسبه می‌گردد:

$$M = \frac{n_3 + n_4 + n_5}{N} \times 100 \quad (13)$$

که در آن n_3 ، n_4 و n_5 به ترتیب تعداد فواصل در ناحیه سوم، چهارم و پنجم می‌باشد.

۲-۹-۵- شاخص کیفیت تغذیه

شاخص کیفیت تغذیه (A)، برابر است با درصدی از فواصل که بیش‌تر از نصف و کم‌تر یا مساوی $1/5$ برابر فاصله نظری باشند. این شاخص از رابطه ۱۴ محاسبه می‌گردد:

$$A = \frac{n_2}{N} \times 100 \quad (14)$$

که در آن n_2 تعداد فواصل در ناحیه دوم می‌باشد.

۲-۹-۶- دقت

دقت (C) عبارت است از ضریب تغییرات فواصلی که به صورت تکی طبقه‌بندی شده‌اند و از رابطه ۱۵ محاسبه می‌شود:

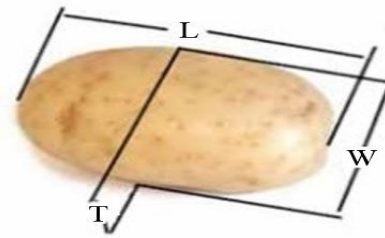
$$C = \frac{s_2}{x_{ref}} \times 100 \quad (15)$$

که در آن s_2 انحراف معیار فواصل اندازه‌گیری شده در ناحیه دوم است.

چرخ زنجیرها منتقل می‌شد.

۲-۸- تعیین شکل و اندازه سیب‌زمینی

شکل و اندازه محصول از جمله مشخصه‌های فیزیکی دارای اهمیت برای طراحی یک ماشین کشاورزی است. برای تعیین اندازه سیب‌زمینی‌ها، سه محور متعامد تعریف شد (شکل ۶)؛ طول (L)؛ بزرگ‌ترین طول، عرض (W)؛ بزرگ‌ترین عرض عمود بر (L) و ضخامت (T)؛ بیش‌ترین ضخامت عمود بر (L و W)، قطر میانگین هندسی (D_g)، درصد کرویت (S_p) و ضریب شکل (S_f) به ترتیب از روابط ۷، ۸ و ۹ محاسبه گردید (Mohsenin, 1986):



شکل ۶- سه محور عمود بر هم سیب‌زمینی (Mohsenin, 1986)

Fig 6. Three perpendicular axes of potato (Mohsenin, 1986)

$$D_g = \sqrt[3]{LWT} \quad (7)$$

$$S_p = \frac{\sqrt[3]{LWT}}{L} \times 100 \quad (8)$$

$$S_f = \frac{L^2}{WT} \times 100 \quad (9)$$

که بر اساس مقدار S_f شکل نمونه‌ها مشخص می‌شود: اگر مقدار S_f بین ۱۰۰ تا ۱۶۰ باشد، شکل نمونه گرد، بین ۱۶۰ تا ۲۴۰ بیضی شکل، بین ۲۴۰ تا ۳۴۰ کشیده و از ۳۴۰ بیش‌تر، شکل نمونه خیلی کشیده محسوب می‌شود (Al-Gaadi & Marey, 2011).

برای بدست آوردن قطر میانگین هندسی، درصد کرویت و ضریب شکل غده‌ها، در پژوهش حاضر دو گروه سیب‌زمینی با شکل‌های گرد و کشیده و در اندازه‌های ۳۵-۲۵، ۴۵-۳۵ و ۵۵-۴۵ میلی‌متر تهیه شد. از هر گروه و اندازه سیب‌زمینی، ۵۰ نمونه به طور تصادفی انتخاب شد و با یک کولیس دیجیتال با دقت ۰/۰۱ میلی‌متر اندازه‌گیری ابعاد غده‌ها انجام شد.

۲-۹- شاخص‌های عملکردی موزع

Kachman & Smith (1995) جهت تعیین کیفیت و دقت کار ماشین‌های کاشت پارامترهایی را بر مبنای فاصله نظری ارائه نمودند که این پارامترها شامل شاخص چندکاشتی، شاخص نکاشت، شاخص کیفیت تغذیه و دقت می‌باشد. پارامتر فاصله نظری (x_{ref})، فاصله بین بذریه‌هایی است که در آن هیچ نکاشت، کاشت چندتایی و تغییر پذیری وجود نداشته و معمولاً برابر با مُد (mode) توزیع فاصله‌ها است. برای محاسبه شاخص‌های مورد نظر فاصله‌های اندازه‌گیری شده به پنج

سرعت کاشت، میانگین فواصل کاشت، انحراف معیار و شاخص نکاشت کاهش یافت. اما باعث افزایش شاخص چندتایی کاشت و کیفیت تغذیه گردید. این بدان معناست که با افزایش سرعت کاشت، سیب‌زمینی‌ها نزدیک‌تر به هم روی خط کاشت قرار گرفتند که کاملاً بدیهی است. با افزایش سرعت تسمه‌های کارنده، در دقت کاشت تغییر قابل ملاحظه‌ای مشاهده نشد.

۳-۳- تأثیر سرعت پیشروی بر شاخص‌های ارزیابی موزع

جدول ۳ تأثیر سرعت پیشروی (سرعت خطی تسمه نقاله تست ریگ) بر شاخص‌های ارزیابی موزع را نشان می‌دهد. همانطور که مشاهده می‌شود، با افزایش سرعت پیشروی، میانگین فواصل کاشت، انحراف معیار و شاخص نکاشت افزایش یافت. این درحالی است که شاخص چندتایی کاشت و کیفیت تغذیه با کاهش همراه بود. افزایش شاخص چندتایی کاشت و کیفیت تغذیه با افزایش سرعت پیشروی نشان دهنده آن است که سیب‌زمینی‌ها با افزایش سرعت پیشروی در فواصل دورتری از هم بر روی خط کاشت قرار گرفته‌اند، که نتیجه‌ای کاملاً بدیهی است. تغییر در دقت کاشت با افزایش سرعت پیشروی، قابل ملاحظه نبود. این بدان معناست که در ناحیه دوم (۱۰ تا ۳۰ سانتی‌متر) با افزایش سرعت پیشروی، تغییر قابل ملاحظه‌ای در پراکندگی فاصله‌ها مشاهده نشد.

۳-۴- تأثیر اندازه سیب‌زمینی بر شاخص‌های ارزیابی موزع

جدول ۴ تأثیر اندازه سیب‌زمینی بر شاخص‌های ارزیابی موزع را نشان می‌دهد. با افزایش اندازه سیب‌زمینی، میانگین فواصل کاشت، انحراف معیار و شاخص نکاشت افزایش نشان داد. اما افزایش اندازه سیب‌زمینی موجب کاهش شاخص‌های چندتایی کاشت و کیفیت تغذیه شد. نتایج نشان داد که هر اندازه سیب‌زمینی بزرگ‌تر باشد، زمان طولانی‌تری را بین غلتک اسفنجی و تسمه‌های کاشت سپری خواهد کرد.

۳-۵- تأثیر شکل سیب‌زمینی بر شاخص‌های ارزیابی موزع

جدول ۵ بیان‌کننده اثر شکل سیب‌زمینی بر شاخص‌های ارزیابی موزع است. ارزیابی دستگاه با سیب‌زمینی‌های بیضی شکل منجر به افزایش میانگین فواصل کاشت، انحراف معیار و شاخص نکاشت در مقایسه با سیب‌زمینی‌های با شکل گرد شد (جدول ۵). سیب‌زمینی بیضی شکل، شاخص چندتایی کاشت و کیفیت تغذیه کم‌تری در مقایسه با سیب‌زمینی‌های با شکل گرد داشتند. بنابراین، هر اندازه سیب‌زمینی کروی‌تر باشد، زمان کم‌تری را بین غلتک اسفنجی و تسمه‌های کاشت سپری کرده و روی تسمه نقاله تست ریگ افتاده است. اثر شکل سیب‌زمینی بر دقت کاشت معنی‌دار نبود.

۲-۱۰- ارزیابی آزمایشگاهی موزع

ارزیابی موزع در محیط آزمایشگاه و به کمک تست ریگ انجام شد. بنابراین، میانگین فواصل کاشت، انحراف معیار، شاخص چندکاشتی، شاخص نکاشت، شاخص کیفیت تغذیه و دقت کاشت کارنده با تغییر در سرعت تست ریگ در سه سطح (۳، ۴/۵ و ۶ کیلومتر بر ساعت)، سرعت موزع در سه سطح (۳، ۴/۵ و ۶ کیلومتر بر ساعت)، شکل غده در دو سطح (گرد و کشیده) و اندازه غده در سه سطح (۲۵-۳۵، ۳۵-۴۵ و ۴۵-۵۵ میلی‌متر) و در سه تکرار مورد بررسی قرار گرفت. در این مرحله از هر شکل و اندازه سیب‌زمینی ۳۵ کیلوگرم تهیه شد. چون شرایط آزمایشگاه برای انجام آزمایش‌ها یکسان بود، آزمایش‌ها به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار اجرا شد. در ارزیابی موزع فاصله نظری ۲۰ سانتی‌متر بود و برای اندازه‌گیری فاصله بین سیب‌زمینی‌ها از متر فلزی استفاده شد (شکل ۷). پس از جمع‌آوری داده‌ها، به وسیله نرم‌افزار SAS 9.4 آنالیز آماری داده‌ها انجام شد و نتایج با آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD) در سطح ۵ درصد مقایسه شد.



شکل ۷- اندازه‌گیری فاصله بین سیب‌زمینی‌ها با متر فلزی

Fig 7. Measuring the distance between potatoes with a metal meter

۳- نتایج و بحث

۳-۱- نتایج تجزیه واریانس ارزیابی موزع

نتایج تجزیه واریانس مربوط به تأثیر سرعت کاشت (سرعت خطی تسمه‌های موزع)، سرعت پیشروی (سرعت خطی تسمه نقاله تست ریگ)، شکل و اندازه سیب‌زمینی بر پارامترهای مورد ارزیابی شامل میانگین فواصل کاشت، انحراف معیار، شاخص چندتایی کاشت، شاخص نکاشت، شاخص کیفیت تغذیه و دقت در جدول ۱ ارائه شده است.

در ادامه با توجه به نتایج تجزیه واریانس به بررسی اثرات هر یک از فاکتورهای معنی‌دار شده بر روی شاخص‌های ارزیابی موزع پرداخته خواهد شد.

۳-۲- بررسی اثر سرعت حرکت موزع بر شاخص‌های

ارزیابی

جدول ۲ اثر سرعت کاشت (سرعت خطی تسمه‌های موزع) بر شاخص‌های ارزیابی موزع را نشان می‌دهد. نتایج نشان داد که با افزایش

جدول ۱- نتایج تجزیه واریانس شاخص‌های ارزیابی موزع

Table 1. The results of variance analysis of distributed evaluation indices

میانگین مربعات							منابع تغییرات Variation resources
دقت Precision	شاخص کیفیت تغذیه Quality of feed index	شاخص نکاشت Miss index	شاخص چندتایی کاشت Multiple index	انحراف معیار STD	میانگین فواصل کاشت Mean plant spacing	درجه آزادی df	
0.69 ^{ns}	976.39 ^{**}	3980.25 ^{**}	1115.43 ^{**}	16.41 ^{**}	173.15 [*]	2	سرعت کاشت (V) Planting speed
14.69 ^{ns}	866.67 ^{**}	4224.23 ^{**}	1380.25 ^{**}	5.94 ^{**}	235.15 ^{**}	2	سرعت پیشروی (U) Forward speed
19.82 ^{ns}	312.50 ^{ns}	489.97 ^{**}	143.67 ^{**}	5.73 ^{**}	10.02 ^{**}	2	اندازه سیب‌زمینی (Z) Potato size
0.00 ^{ns}	1141.36 ^{**}	1833.49 ^{**}	74.26 ^{ns}	9.27 ^{**}	44.86 ^{**}	1	شکل سیب‌زمینی (S) Potato shape
41.52 [*]	867.36 ^{**}	512.19 ^{**}	243.21 ^{**}	11.60 ^{**}	14.85 ^{**}	4	V×U
1.66 ^{ns}	79.86 ^{ns}	49.46 ^{ns}	5.94 ^{ns}	1.23 ^{ns}	0.85 ^{ns}	4	V×Z
13.51 ^{ns}	258.49 [*]	378.40 ^{**}	17.28 ^{ns}	0.91 ^{ns}	5.64 ^{ns}	2	V×S
7.91 ^{ns}	315.97 ^{**}	299.00 ^{**}	63.12 [*]	2.02 [*]	7.84 ^{**}	4	U×Z
1.87 ^{ns}	17.28 ^{ns}	65.90 ^{ns}	19.14 ^{ns}	0.01 ^{ns}	6.69 [*]	2	U×S
17.76 ^{ns}	41.82 ^{ns}	52.93 ^{ns}	15.90 ^{ns}	0.70 ^{ns}	1.65 ^{ns}	2	Z×S
11.43 ^{ns}	209.03 ^{**}	158.14 ^{**}	32.33 ^{ns}	1.56 [*]	3.88 ^{ns}	8	V×U×Z
14.23 ^{ns}	90.66 ^{ns}	81.64 ^{ns}	11.73 ^{ns}	0.69 ^{ns}	2.78 ^{ns}	4	V×U×S
11.91 ^{ns}	51.31 ^{ns}	58.26 ^{ns}	45.29 ^{ns}	0.22 ^{ns}	6.65 [*]	4	V×Z×S
7.07 ^{ns}	176.77 [*]	79.09 ^{ns}	38.12 ^{ns}	0.24 ^{ns}	3.16 ^{ns}	4	U×Z×S
21.09 ^{ns}	107.10 ^{ns}	70.87 ^{ns}	38.35 ^{ns}	0.65 ^{ns}	3.52 ^{ns}	8	V×U×Z×S

***، * و ns به ترتیب معنی‌داری در سطح احتمال ۰.۰۱، معنی‌داری در سطح احتمال ۰.۰۵ و عدم معنی‌داری

جدول ۲- مقایسه میانگین‌های شاخص‌های ارزیابی تحت تأثیر سرعت کاشت

Table 2. Comparison of the averages of evaluation indices under the influence of planting speed

دقت (%) Precision (%)	شاخص کیفیت تغذیه (%) Quality of feed index (%)	شاخص نکاشت (%) Miss index (%)	شاخص چندتایی کاشت (%) Multiple index (%)	انحراف معیار Standard deviation (cm)	میانگین فواصل کاشت Mean plant spacing (cm)	سرعت کاشت Planting speed (km/h)
28.95 ^a	73.70 ^a	24.35 ^a	1.85 ^a	8.11 ^a	23.80 ^a	3
28.77 ^a	80.90 ^b	13.98 ^b	5.93 ^b	7.21 ^b	21.53 ^b	4.5
28.72 ^a	81.76 ^b	7.30 ^c	10.93 ^c	7.11 ^b	20.26 ^c	6

حروف متفاوت در هر ستون نشان‌دهنده وجود اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد است.

جدول ۳- مقایسه میانگین‌های شاخص‌های ارزیابی تحت تأثیر سرعت پیشروی

Table 3. Comparison of the averages of evaluation indices under the influence of forward speed

دقت (%) Precision (%)	شاخص کیفیت تغذیه (%) Quality of feed index (%)	شاخص نکاشت (%) Miss index (%)	شاخص چندتایی کاشت (%) Multiple index (%)	انحراف معیار Standard deviation (cm)	میانگین فواصل کاشت Mean plant spacing (cm)	سرعت پیشروی Forward speed (km/h)
29.32 ^a	81.85 ^a	6.48 ^a	11.67 ^a	7.21 ^a	19.77 ^a	3
28.87 ^a	79.63 ^a	15.00 ^b	5.37 ^b	7.38 ^a	21.85 ^b	4.5
28.28 ^a	74.07 ^b	24.17 ^c	1.67 ^c	7.85 ^a	23.98 ^c	6

حروف متفاوت در هر ستون نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد است.

جدول ۴- مقایسه میانگین‌های شاخص‌های ارزیابی موزع تحت تأثیر اندازه سیب‌زمینی

Table 4. Comparison of the averages of evaluation indices under the influence of potato size

اندازه سیب زمینی Potato size (mm)	میانگین فواصل کاشت Mean plant spacing (cm)	انحراف معیار Standard deviation (cm)	شاخص چندتایی کاشت (%) Multiple index (%)	شاخص نکاشت (%) Miss index (%)	شاخص کیفیت تغذیه (%) Quality of feed index (%)	دقت (%) Precision (%)
25-35	21.41 ^a	7.20 ^a	7.96 ^a	12.13 ^a	79.91 ^a	28.22 ^a
35-45	21.92 ^{ab}	7.40 ^b	6.02 ^b	15.37 ^b	78.61 ^a	29.43 ^a
45-55	22.27 ^b	7.84 ^b	4.72 ^b	18.15 ^c	77.13 ^a	28.81 ^a

حروف متفاوت در هر ستون نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ درصد است.

جدول ۵- مقایسه میانگین‌های شاخص‌های ارزیابی موزع تحت تأثیر شکل سیب‌زمینی

Table 5. Comparison of the averages of evaluation indices under the influence of potato shape

شکل سیب زمینی Potato shape	میانگین فواصل کاشت Mean plant spacing (cm)	انحراف معیار Standard deviation (cm)	شاخص چندتایی کاشت (%) Multiple index (%)	شاخص نکاشت (%) Miss index (%)	شاخص کیفیت تغذیه (%) Quality of feed index (%)	دقت (%) Precision (%)
کروی Spherical	21.34 ^a	7.24 ^a	6.91 ^a	11.85 ^a	81.17 ^a	28.82 ^a
بیضی شکل Oval shape	22.40 ^b	7.72 ^b	5.56 ^a	18.58 ^b	75.86 ^b	28.82 ^a

حروف متفاوت در هر ستون نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ درصد است.

۳-۶- تأثیر نسبت سرعت بر شاخص‌های ارزیابی موزع

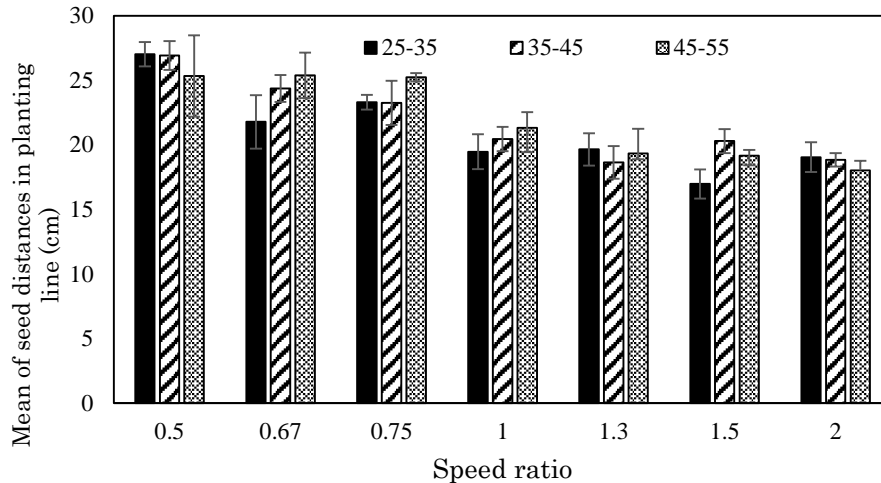
سه سطح سرعت تسمه‌های کاشت و سه سطح سرعت خطی تست ریگ، در حقیقت نشان دهنده ۷ نسبت سرعت است. یک نسبت ۱:۱، سه نسبت سرعت که در آن تسمه‌های کاشت به نسبت تسمه نقاله تست ریگ سرعت خطی بالاتری دارند و سه نسبت سرعت که در آن تسمه نقاله تست ریگ با سرعت خطی بالاتری به نسبت سرعت تسمه‌های کاشت حرکت می‌کند. در نتیجه نسبت سرعت تسمه‌های کاشت به سرعت خطی تست ریگ، ۷ نسبت سرعت ۱:۰/۵:۱، ۰/۶۷:۱:۰/۷۵:۱، ۰/۷۵:۱:۱، ۱/۳:۱:۱ و ۲:۱ را شامل می‌شود. در صورتی که تحلیل نتایج ارزیابی براساس نسبت سرعت‌ها انجام شود، مشاهده می‌گردد که با افزایش نسبت سرعت، فواصل بین غده‌ها در ردیف کاشت کاهش یافته است (شکل ۸ و ۹). همچنین نتایج نشان می‌دهد که در نسبت‌های سرعت ۱:۰/۵:۱، ۰/۶۷:۱:۰/۷۵:۱، ۱:۱:۱، ۱/۳:۱:۱ و ۱/۵:۱:۱، ۲:۱، مُد فاصله بین غده‌های کروی در ردیف کاشت به ترتیب ۱۸/۶، ۲۳/۹، ۲۳/۸، ۲۶/۴، ۲۰/۴، ۱۹/۲، ۱۸/۸ و ۱۸/۶ سانتی‌متر خواهد بود. با توجه به مُد فاصله بین غده‌ها محاسبه شده برای هر نسبت سرعت، می‌توان نتیجه گرفت که فاصله نظری ۲۰ سانتی‌متر که در قسمت‌های پیشین برای محاسبه دقت در نظر گرفته شد، تنها برای شرایطی که سرعت حرکت تسمه نقاله تست ریگ و تسمه‌های کاشت برابر است، مصداق دارد. بدین سبب با در نظر گرفتن فاصله نظری ۲۰ سانتی‌متر و با توجه به انحراف معیار ۱/۴۱ داده‌ها در نسبت دنده یک، شاخص دقت

برابر با ۷ درصد خواهد بود که بسیار بهتر از متوسط شاخص دقت ۳۰ درصدی بدست آمده در مراحل گذشته است.

۴- نتیجه‌گیری نهایی

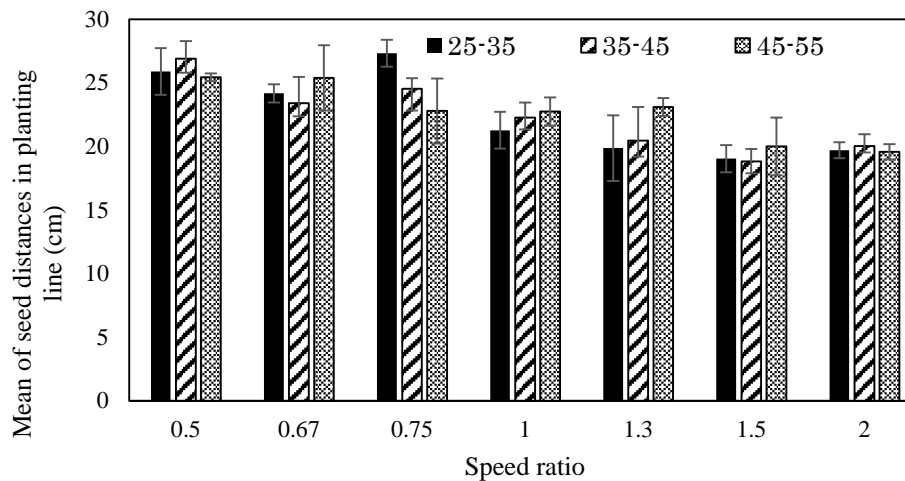
تحلیل نتایج نشان داد که بهترین شاخص کیفیت تغذیه و دقت در بیشینه سرعت حرکت تسمه‌های کاشت (۶ کیلومتر بر ساعت) حاصل شد. همچنین بهترین شاخص کیفیت تغذیه در کمترین سرعت حرکت تست ریگ (۳ کیلومتر بر ساعت) بدست آمد. تأثیر اندازه سیب‌زمینی روی میانگین فواصل کاشت معنی‌دار می‌باشد. افزایش اندازه سیب‌زمینی منجر به افزایش میانگین فواصل کاشت شد. همچنین اثر اندازه سیب‌زمینی روی انحراف معیار، شاخص‌های کاشت چندتایی و نکاشت معنی‌دار تشخیص داده شد. بهترین شاخص کیفیت تغذیه با غده‌های گرد و به اندازه ۲۵-۳۵ میلی‌متر بدست آمد.

تحلیل نتایج در نسبت‌های سرعت معین، نشان داد که مد فواصل کشت یکسان نبوده، بنابراین محاسبه دقت کاشت با فرض فاصله نظری ۲۰ سانتی‌متر در تمامی حالات منجر به خطا در محاسبه دقت می‌شود. محاسبه مجدد شاخص دقت نشان داد که این شاخص با در نظر گرفتن مد فاصله کاشت برای هر نسبت سرعت، به مقدار معنی دار کاهش می‌یابد. از آنجا که شاخص دقت از تقسیم انحراف معیار فاصله بین غده‌ها بر مقدار فاصله نظری محاسبه می‌شود، کاهش شاخص دقت نشان دهنده عملکرد بهتر موزع و فواصل منظم‌تر کاشت است.



شکل ۸- بررسی اثر تغییرات نسبت سرعت بر فاصله کاشت (برای سیب زمینی‌هایی با شکل کروی)

Fig 8. Investigating the effect of changes in speed ratio on seed distances (for potatoes with spherical shape)



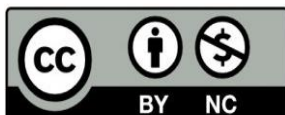
شکل ۹- بررسی اثر تغییرات نسبت سرعت بر فاصله کاشت (برای سیب زمینی‌های بیضی شکل)

Fig 9. Investigating the effect of changes in speed ratio on seed distances (for potatoes with oval shape)

منابع

- Anonymous. (2021). *Structural belt planters*. <https://www.dewulfgroup.com/media/2802/structural-belt-planters.pdf>.
- Anonymous. (2015). *The GB-series of belt planters, professional planting technology for extraordinary requirements*. <https://static.grimme.com/files/2015/01/08/9e813e746a2cc20fb73473c89d4b11c6576fa22d.pdf>.
- Bejaee, F. (2013). *Design and development of a potato online sizing system using machine vision technique*. MSc. Thesis, College of agriculture, University of mohaghegh ardabili, Ardabil, Iran. (In Persian)
- Ebubekir A. (2005). *The Effects of Some Operational Parameters on Potato Planter Performance*. Agricultural Mechanization in Asia, Africa and Latin America. 36 (2): 71-74.
- Kachman, S. D. and Smith, J. A. (1995). *Alternative measures of accuracy in plant spacing for planters using single seed metering*. Transaction of ASAE. 38 (2): 379-387.
- Khajepoor, M. R. (2004). *Industrial plants*. Jihad daneshgahi pblication, Isfahan University of Technology. (In Persian)
- Malik, A., Kumar, V., Sharma, S. and Kumar, A. (2017). *Design and Development of Automatic potato planter for mini tractor*. International Journal of Scientific & Engineering Research. 8 (7): 13-28.
- Mandloi, K., Swarnkar, R., Yoganandi, Y. C., Raulji, H. K. and Dabhi, K. L. (2015). *Development of a mini tractor drawn semiautomatic two row planter cum fertilizer applicator*. International Journal of Agricultural Engineering. 11 (1): 13-22.
- Mansouri-Rad, D. (2002). *Tractors and agricultural machinery*. Bu-Ali Sina University Press, Hamadan, Iran. (In Persian)
- Meijer, E. N. C. and Frederiks, J. (1975). *Development of*

- an automatic planter for presprouted seed*. Potato Research. 18: 451-454.
- Mohsenin, N. N. (1986). *Physical Properties of Plant and Animal Materials*. 2nd Ed. Gordon and Breach Science Publisher.
- Nazer, A. (2012). *Design and manufacturing method of mechanical measuring device for apple fruit*. MSc. Thesis, College of Agriculture, Tabriz University, Tabriz, Iran. (In Persian).
- Peter, R. (1990): *On the state of the art in potato planting*. Landtechnik. 45 (5): 174-176.
- Shigley, J. E., Budynas, R. G. and Keith Nisbett, J. (2011). *Mechanical Engineering Design*. 9th Ed. McGraw-Hill, New York.
- Zheng, Z., Zhao, H., Liu, Z., He, J., and Liu, W. (2021). *Research Progress and Development of Mechanized Potato Planters: A Review*. Agriculture. 11, 521. <https://doi.org/10.3390/agriculture11060521>.



This is an open access article under the CC BY NC license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/2.0/>)