

مطالعه عوامل مؤثر بر عملکرد موزع استوانه‌ای نیوماتیکی دقیق برای کاشت بذر آویشن

عادل حکیمی، رحمان فرخی تیمورلو*

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۵/۱۲ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۰/۴

گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران

*مسئول مکاتبه: r.farrokhi@urmia.ac.ir

چکیده

برای کاشت غلات از کارنده‌های دقیق نیوماتیکی استفاده می‌شود. اما استفاده از این کارنده‌ها برای کاشت بذرهای کوچک گیاهان دارویی فاقد روکش بسیار مشکل است. هدف از این مطالعه، بررسی عملکرد موزع استوانه‌ای نیوماتیکی برای کاشت بذر آویشن بدون روکش و تعیین شرایط بهینه آن بود. برای این منظور اثرات چهار عامل فشار مکش ۶-، ۸- و ۱۰- کیلو پاسکال، سرعت خطی موزع ۰/۰۳، ۰/۰۴ و ۰/۰۵ متر در ثانیه، قطر سوراخ موزع 5×10^{-4} و 7×10^{-4} متر و شکل سوراخ مخروطی و مستقیم بر روی سه شاخص نداشت، چندکاشت و کیفیت کاشت برای بذر آویشن مورد بررسی قرار گرفت. آزمایش‌ها در ۵ تکرار به روش فاکتوریل و در قالب طرح کاملاً تصادفی انجام شد. نتایج نشان داد که فشار مکش و سرعت خطی موزع تأثیر معنی‌داری بر شاخص‌های مورد نظر دارد. بهترین عملکرد موزع در فشار ۱۰- کیلو پاسکال، سرعت خطی موزع ۳ سانتی‌متر در ثانیه، قطر سوراخ موزع ۰/۷ میلی‌متر و شکل سوراخ مخروطی بدست آمد. در این شرایط، مقادیر شاخص‌های نداشت، چندکاشت و کیفیت کاشت به ترتیب ۰/۴، ۴/۴ و ۹۵/۲ درصد به دست آمد.

واژه‌های کلیدی: بذر ریز، بذر بدون روکش، شاخص‌های کاشت، فشار مکش، کارنده دقیق نیوماتیکی

Study of the Affecting Factors on the Performance of Precision Pneumatic Cylindrical Distributor for Sowing Thyme Seed

Adel Hakimi and Rahman Farrokhi Teimourlou*

Received: 3 Aug 2022

Accepted: 25 Dec 2022

Department of Mechanical Engineering of Biosystems, Faculty of agriculture, Urmia University, Urmia, Iran

* Corresponding author: r.farrokhi@urmia.ac.ir

Abstract

Pneumatic precision seeders are used for sowing of cereals. However, sowing small uncoated seed of medical plants is very difficult by these seeders. The purpose of this study was to investigate the performance of the pneumatic cylinder distributor to sow uncoated thyme seed and to determine its optimal conditions. The effects of four factors were investigated: the suction pressure at -6, -8, -10 kPa, the linear velocity of distributor at 3, 4, 5*10⁻² m. s⁻¹, the diameter of the distributor hole at 5, 7*10⁻⁴ m and the seed hole shape in conical and straightforward forms. In order to estimate the distributor yield, three indices of miss index, multiple index and quality of feed index for thyme were examined. The experiments were performed in 5 replications by the factorial method in a completely randomized design. The results showed that the suction pressure and linear speed of the distributor had a significant effect on the indices. The best performance of the distributor unit was obtained at -10 kPa pressure, 3*10⁻² m. s⁻¹ linear speed of the distributor, 7*10⁻⁴ m diameter for the distributor hole and the shape of the conical hole. Under these conditions, the values of miss, multiple and quality of feed indices resulted in 0.4%, 4.4%, and 95.2%, respectively.

Keywords: Small seeds, Uncoated seed, Feed indices, Suction pressure, Pneumatic precision seeders

How to cite:

Hakimi A and Farrokhi Teimourlou R. 2022. Study of the Affecting Factors on the Performance of Precision Pneumatic Cylindrical Distributor for Sowing Thyme Seed. *Journal of Agricultural Mechanization* 7 (2): 9-18.

۱- مقدمه

آویشن گیاهی معطر و دارویی از خانواده نعنائیان و بومی ایران است که از برگ‌های آن به عنوان دمنوش، طعم دهنده غذا و داروی گیاهی استفاده می‌شود. همچنین به دلیل بازدهی بالای اسانس بسیار محبوب است و در تجارت جهانی گیاهان معطر جایگاه ویژه‌ای دارد (Aflakian et al., 2012; Naghdi Badi et al., 2015; Safaei-Ghomi et al., 2009). افزایش ظرفیت تولید محصولات گیاهی که به عنوان غذا یا دارو محسوب می‌شوند باید از طریق اجرای برخی روش‌های نوین کشاورزی انجام شوند. از متداول‌ترین روش‌های تکثیر و ازدیاد گیاهان کشت بذر یا بذرکاری است (ERPO 2017, p. 128-132). بذرکارها از جمله تجهیزات اصلی برای عملیات کاشت هستند که در سال‌های اخیر تعداد زیادی از آنها تولید و در دسترس کشاورزان قرار گرفته است (Gaikwad & Sirohi, 2008; Movahedi et al., 2014; Shujuan et al., 2014).

در بین بذرکارهای دقیق، آنهایی که دارای موزع از نوع استوانه‌های مکشی هستند به طور گسترده‌تر مورد استفاده قرار می‌گیرند زیرا نسبت به بذرکار مکانیکی مزایایی از جمله کیفیت کار بهتر، نرخ کاشت دقیق‌تر با میزان آسیب کمتر به بذر، کنترل و تنظیم بهتر، و کاربرد بیشتری را دارند. یک معیار مهم در ارزیابی عملکرد بذرکاری، یکنواختی فاصله بذرها است. زیرا توزیع یکنواخت بذر می‌تواند حداکثر فضا را برای هر گیاه فراهم کند، رقابت درونی ویژه را کاهش داده و عملکرد را افزایش دهد. فاصله یکنواخت همچنین منجر به اندازه یکنواخت ریشه می‌شود که به نوبه خود هدر رفت محصول را کاهش می‌دهد (Zhan et al., 2010).

Fu et al., (2016) یک دستگاه اندازه‌گیری دقیق از نوع

استوانه‌ای پنوماتیک را توسعه دادند که طی آن آزمایش‌های تک عاملی و متعادل در آزمایشگاه به منظور تعریف پارامترهای عملکرد بهینه دستگاه انجام شد. عوامل مورد آزمایش شامل فشار مکش بذر، فشار تخلیه بذر، جریان هوا دمنده و سرعت عمل بودند. نتایج نشان داد که با قطر دانه بین ۱/۲ - ۱/۸ میلی‌متر، پارامترهای عملکرد بهینه دستگاه اندازه‌گیری در فشار مکش ۷- کیلو پاسکال، فشار تخلیه ۰/۱۵ کیلو پاسکال، جریان هوا ۸ لیتر در دقیقه و سرعت عمل ۱ کیلومتر در ساعت بدست آمد. در این شرایط شاخص کیفیت کاشت به ۹۹/۵۲٪ رسید و هر دو شاخص چندکاشت و شاخص نکاشت ۰/۲۴٪ بدست آمد.

Zhao et al., (2011) به منظور تجزیه و تحلیل تأثیر برخی پارامترها بر عملکرد کاشت موزع استوانه مکشی، مدل‌های سه‌بعدی دانه‌های کلزا و استوانه‌های مکش طراحی کردند. پارامترهای قطر و شکل سوراخ مکش و سرعت چرخش بهینه شده و سینتیک فرآیند مکش مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. نتایج نشان داد که در سرعت چرخش موزع استوانه‌ای ۱۵ دور در دقیقه و محدوده فشار خلاء ۳ تا ۴ کیلوپاسکال، شاخص کیفیت کاشت بیش از ۹۵ درصد به دست آمد. Gao et al., (2016) یک واحد اندازه‌گیری دقیق از نوع استوانه نیوماتیک برای تأمین نیازهای کاشت بذر نوتوجنسینگ طراحی کردند. این دستگاه دارای ویژگی‌های فشار مکش، فشار هوا جهت پاکسازی بذر و سرعت صفر در ریزش بذر است. در این پژوهش تأثیر سرعت رو به جلو، فشار منفی و زاویه جذب بر عملکرد کاشت مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که بهترین ترکیب پارامترها در زاویه جذب ۲۰ درجه، مقدار فشار مکش ۷۲۰-۶۶۰ پاسکال و سرعت رو به جلو ۰/۷۶-۰/۷۲ متر در ثانیه است. در شرایط بهینه، شاخص کیفیت کاشت بیشتر از ۹۰/۲ درصد، شاخص نکاشت کمتر از ۴/۹ درصد و شاخص چندکاشت کمتر از ۵/۳ درصد حاصل شد.

فهرست علائم و اختصارات

Nomenclature	فهرست علائم و اختصارات
$\omega_1, \omega_2, \omega_3, \omega_4$	سرعت دورانی چرخنده‌ها ۱، ۲، ۳ و ۴، rpm
ω_c	سرعت دورانی موزع استوانه‌ای، rpm
ω_{cb}	سرعت دورانی تسمه نقاله، rpm
D	قطر سوراخ موزع، mm
F	شکل سوراخ بذر
I_q	شاخص کیفیت کاشت، %
I_{miss}	شاخص نکاشت، %
I_{mult}	شاخص چندکاشت، %
N_1, N_2, N_3, N_4	تعداد دندانه چرخنده‌ها ۱، ۲، ۳ و ۴ در figure 2
M	تعداد سوراخ‌های استوانه
P	فشار مکش، kPa
r_c	قطر موزع استوانه‌ای، cm
r_{cb}	قطر محور تسمه نقاله، cm
V	سرعت خطی موزع، cm.s-1
V_0	سرعت خطی موزع استوانه‌ای یا تسمه نقاله، cm.s-1
X	تعداد کل فاصله‌های اندازه‌گیری شده
X_0	فاصله اسمی بذرها روی تسمه نقاله، cm
X_1	تعداد فواصل بذرهایی که از ۱/۵ برابر فاصله تئوری بیشتر باشد
X_2	تعداد فواصل بذرهایی که از ۰/۵ برابر فاصله تئوری کمتر باشد

(2019). با توجه به ابعاد سینی‌های نشاء یونولیتی، فاصله بذور در هر ردیف ۲/۸۵ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. برای کاشت بذر آویشن قطر آن فاکتور مهمی در تعیین قطر سوراخ استوانه موزع است. به این منظور با انتخاب تصادفی ۱۰۰ نمونه بذر، برخی خصوصیات فیزیکی مطابق جدول ۱ اندازه‌گیری شد که قطر متوسط هندسی بذور در حدود ۰/۸ میلی‌متر بدست آمد. با هدف یکنواختی و اطمینان از حذف بذرها و مواد بسیار ریز موجود در توده بذر از الک مش ۲۵ (۷۱۰ میکرون) استفاده شد. برای جلوگیری از گرفتگی سوراخ‌ها و بررسی اثر قطر سوراخ موزع بر عملکرد دستگاه، دو اندازه ۰/۷ و ۰/۵ میلی‌متر برای قطر سوراخ‌های موزع استوانه‌ای در نظر گرفته شد.

به منظور بررسی تأثیر شکل مقطع سوراخ موزع بر عملکرد دستگاه، سوراخ‌های موزع مطابق شکل ۱ در دو نوع ساده و خزینه‌دار تهیه شد. برای هر کدام از قطرها و نوع مقطع سوراخ‌ها یک ردیف محیطی سوراخ در سطح موزع نیوماتیکی ایجاد شد. کارنده مورد استفاده در این تحقیق از نوع نیوماتیکی با موزع استوانه‌ای دارای فشار مثبت و منفی بود. مطابق شکل ۱ زمانی که سوراخ‌های موزع از مقابل مخزن بذر عبور می‌کنند وجود فشار ۶- کیلو پاسکال در پشت سوراخ‌ها باعث می‌شود بذرها به سوراخ‌های موزع بچسبند. برای اندازه‌گیری فشار مکش از گیج و کیوم عقربه‌ای با دقت ۲ کیلو پاسکال استفاده شد. در ادامه بعد از چرخش موزع و قرارگرفتن سوراخ‌های حاوی بذر در نزدیکترین نقطه نسبت به تسمه نقاله لازم است رهاسازی بذر انجام شود. با توجه به ناچیز بودن چگالی بذرها، برای از بین بردن فشار مکش ایجاد شده و غلبه بر نیروی اصطکاک مابین بذر و سوراخ موزع و در نهایت رهاسازی بذرها در موقعیت مناسب، علاوه بر قطع فشار مکش، به مقداری فشار مثبت در پشت سوراخ‌های موزع نیاز است.

برای این کار فشار هوای حدود ۱۰ کیلو پاسکال به قسمت فشار مثبت اعمال شد. به منظور بررسی تعداد و محل فرود بذرها، چسب نواری سفید رنگ بر روی تسمه نقاله نصب شد تا بذرها بعد از رها شدن از موزع در نقطه فرود بر روی تسمه نقاله ثابت شوند. در عملیات مکش بذر اغلب مشاهده شد که چندین بذر به اطراف هر سوراخ موزع چسبیده است که این حالت باعث افزایش چند دانه کاشت می‌شد. برای رفع این مشکل و بهبود عملیات تک‌دانه‌کاری مطابق شکل ۲ برای هر ردیف سوراخ موزع از یک بذر تک‌کن نیوماتیکی استفاده شد. دمنده‌های نیوماتیکی با فشار حدود ۱۰ کیلو پاسکال در فاصله‌ای حدود ۳ سانتی‌متر در راستای مماس بر سطح موزع تنظیم شدند. در این حالت هوا به گونه‌ای به سوی سوراخ‌های موزع دمیده می‌شد تا بذرها را اضافی که در اثر فشار مکش به این نواحی چسبیده بودند، به داخل مخزن بذر بیافتند. ضروری است میزان فشار هوا و فاصله و زاویه بذر تک‌کن با استوانه موزع به گونه‌ای تنظیم شود تا بذری که در سوراخ موزع مستقر شده و تحت فشار مکش بیشتری است در موقعیتش باقی بماند. در صورت عدم رعایت این موارد به میزان زیادی خطای نکاشت و یا چند دانه کاشت افزایش می‌یابد.

(Yazgi et al., 2010) برای اندازه‌گیری دانه‌های ذرت با توسعه توابع ریاضی و بهینه‌سازی، عملکرد یک دستگاه تخلیه مکش دقیق را مورد مطالعه قرار دادند. متغیرهای در نظر گرفته شده در این مطالعه قطر سوراخ بذر، سرعت محیطی صفحه مکش و میزان فشار روی صفحه مکش بودند. آزمایش‌ها بر اساس دوربین CCD با پنج سطح مختلف برای هر متغیر انجام شد. سطح بهینه سرعت محیطی صفحه مکش ۰/۰۶۸ متر در ثانیه، قطر سوراخ ۳/۷۷ میلی‌متر و فشار مکش ۷۶/۷۵ میلی‌بار در آزمایشگاه و شرایط مزرعه تأیید شد. یک دستگاه اندازه‌گیری دقیق پنوماتیک استوانه‌ای برای برآورده کردن نیاز مستقیم بذر (۲-۴ دانه در هر سوراخ) برنج هیبریدی طراحی شده است.

(Zhang et al., 2015) طی مطالعه‌ای عوامل اصلی مؤثر بر عملکرد دستگاه اندازه‌گیری از جمله شکل نازل، سرعت استوانه، میزان فشار مکش و دهش هوا را مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج نشان داد که ترتیب تأثیرگذاری بر میزان نکاشت (کمتر از دو دانه در سوراخ)، کیفیت کاشت (۲ تا ۴ دانه در هر سوراخ) و چند کاشت (بیش از چهار دانه در سوراخ) به ترتیب شکل نازل، سرعت استوانه، سرعت جریان هوا و فشار مکش بودند. پارامترهای ترکیبی بهینه در شکل نازل مخروطی، سرعت استوانه ۱۰ دور در دقیقه، سرعت جریان هوا ۱۷/۰۳ متر در ثانیه و فشار مکش ۴ کیلو پاسکال مشاهده شد که در این شرایط میزان نکاشت، کیفیت کاشت و چند کاشت به ترتیب ۳/۶، ۸۵/۴۷ و ۱۰/۹۳ درصد بدست آمد.

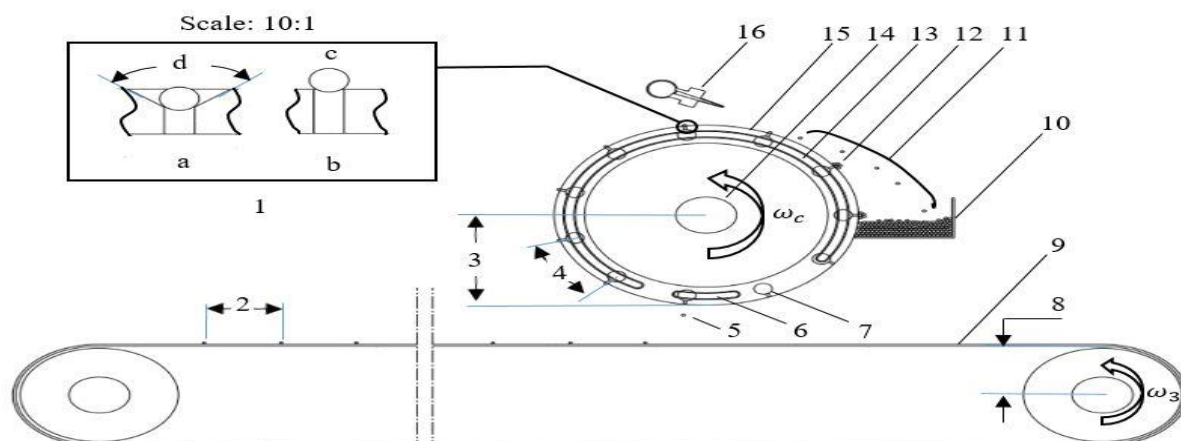
بسیاری از گیاهان به ویژه گیاهان دارویی دارای بذرهایی ریز و در عین حال بسیار گران هستند. در نتیجه کاشت این بذرها در گلخانه‌های ایران با مشکلاتی از جمله هزینه بالای کارگری، زمان بر بودن و عدم امکان کاشت بذرهایی ریز به صورت تکی مواجه است. در این راستا برای تولید انبوه نشاء آویشن به دستگاهی نیاز است که بتواند عملیات کاشت تک دانه‌ای بذر آویشن در سینی‌های نشاء را با راندمان بالا و دقت مناسب انجام دهد. تحقیقات انجام شده در این زمینه عموماً برای کاشت برخی از غلات، حبوبات و بذرهایی در اندازه‌های مشابه آنها مورد بررسی قرار گرفته است. برای کاشت بذرهایی ریز، گران‌قیمت یا از نظر مورفولوژیکی ناهموار، اغلب روکش ضخیم‌تری اعمال می‌شود (Pedrini et al., 2017). البته این روش برای تعداد بسیار زیاد بذر مقرون به صرفه و قابل اجرا است. در گلخانه‌های کوچک، مشکل تک دانه‌کاری بذرهایی ریز همچنان پابرجاست. در تحقیق حاضر، برخی از عوامل مؤثر بر عملکرد دستگاه استوانه‌ای نیوماتیکی برای کاشت بذر آویشن بدون روکش و تغییر اندازه بذرها مورد بررسی قرار گرفت.

۲- مواد و روش‌ها

بذر مورد استفاده در این تحقیق بذر آویشن بود که از مزرعه تحقیقاتی دانشگاه ارومیه تهیه شد. این گیاه از گونه‌های بومی ایران و از خانواده نعنائیان است که در ارتفاعات و دامنه‌های کوهستانی غرب و جنوب غرب ایران پراکنده است (Abdollahi Arpanahi & Feizian, 2017).

جدول ۱- میانگین و خطای استاندارد خواص فیزیکی بذر آویشن
Table 1- Mean and standard error of physical properties of thyme seed

طول Length (mm)	عرض Width (mm)	ضخامت Thickness (mm)	میانگین قطر هندسی Geometric mean diameter	کروییت Sphericity (%)	وزن هزاردانه 1000 seed mass (g)	چگالی ظاهری Bulk density (g.mm ⁻³)	چگالی حقیقی Particle density (g.mm ⁻³)	تخلخل Porosity (%)
1.01 ± 0.07	0.77 ± 0.05	0.58 ± 0.05	0.77 ± 0.05	76.23 ± 3.76	0.26 ± 0.02	0.69 ± 0.01	1.2 ± 0.02	42.5 ± 0.58



شکل ۱- طرحواره توزیع بذر: (۱) بزرگ‌نمایی شکل مقطع سوراخ بذر: (a) مخروطی، (b) مستقیم، (c) بذر، (d) زاویه مخروطی، (۲) فاصله اسمی بذر ها x_0 ، (۳) شعاع استوانه $r_c = 5\text{ cm}$ ، (۴) فاصله سوراخ‌ها، (۵) بذر، (۶) ناحیه فشار هوا مثبت، (۷) مجرای هوا، (۸) شعاع محور تسمه نقاله $r_{cb} = r_c/2$ ، (۹) تسمه چسبنده، (۱۰) مخزن بذر، (۱۱) حذف بذرهای اضافی، (۱۲) تجمع بذر ها در اطراف سوراخ ها (۱۴)، محور استوانه، (۱۵) موزع استوانه‌ای، (۱۶) نازل بذر تک‌کن

Fig 1. Schematic of seed distribution: 1. Enlarged drawing of seed hole shape; conical (a), straightforward (b), seed (c), conical angle=100° (d) 2. Nominal seeds spacing x_0 3. Cylinder radius $r_c = 5\text{ cm}$ 4. Hole spacing (2.85cm) 5. Seed 6. Positive air pressure zone 7. Air duct 8. Conveyor belt axis radius $r_{cb} = r_c/2$ 9. Sticky belt 10. Seed box 11. Removal of excess seeds 12. Accumulation of seeds around the holes 13. Negative air pressure zone 14. Roller shaft 15. Cylindrical distributor 16. Seed clearing air nozzle

(rpm) و تعداد دندان چرخنده‌های شماره ۲ و ۳، $r_c \cdot r_{cb} \cdot \omega_c \cdot \omega_{cb}$ به ترتیب شامل سرعت زاویه‌ای و شعاع (cm) موزع استوانه‌ای و محور تسمه نقاله و V_0 سرعت خطی موزع استوانه‌ای است. همچنین به کمک روابط (۳) و (۴) فاصله اسمی بذر ها محاسبه شد (Zhan et al., 2010).

$$X_0 = \frac{2\pi}{M \cdot \omega_c} V_0 \quad (3)$$

$$\text{for as much as : } \omega_c = \frac{V_0}{r_c} \quad \text{then} \quad X_0 = \frac{2\pi r_c}{M} \quad (4)$$

که X_0 فاصله اسمی بذر ها و M تعداد سوراخ‌های موجود در هر ردیف محیطی از موزع استوانه‌ای است.

مطابق شکل ۲ نیروی محرکه دستگاه از طریق الکتروموتور تامین شد. سپس با استفاده از گیربکس و پولی‌های مناسب سرعت‌های دورانی مورد نیاز برای موزع و تسمه نقاله فراهم شد. برای انتقال نیرو از گیربکس به موزع و تسمه نقاله از چرخنده‌ها استفاده شد. با توجه به اینکه تسمه نقاله و موزع استوانه‌ای از یک منبع نیرو می‌گیرند، با افزایش سرعت دورانی موزع، سرعت تسمه نقاله نیز افزایش می‌یابد. در ادامه به منظور یکسان نمودن سرعت خطی موزع و تسمه نقاله و همچنین ثابت نگه‌داشتن فاصله اسمی بذر ها در سرعت‌های مختلف به کمک روابط (۱) و (۲) از چرخنده‌هایی با ابعاد مناسب استفاده شد (Budynas & Nisbett 2011, p. 679 & 698).

$$\omega_3 = \left| \frac{N_2}{N_3} \omega_2 \right| \quad \text{where in} \quad \begin{cases} \omega_2 = \omega_c \\ \omega_3 = \omega_{cb} \end{cases} \quad (1)$$

$$V_0 = |r_c \omega_c| = |r_{cb} \omega_{cb}| \quad \text{then} \quad \left| \frac{\omega_c}{\omega_{cb}} \right| = \frac{r_{cb}}{r_c} = \frac{N_3}{N_2} \quad (2)$$

در این روابط $N_3 \cdot N_2 \cdot \omega_3 \cdot \omega_2$ به ترتیب شامل سرعت زاویه‌ای

$$I_q = 100 - (I_{miss} + I_{mult}) \quad (7)$$

در این پژوهش مهم‌ترین شاخص‌های عملکردی دستگاه از طریق بررسی برخی عوامل شامل فشار مکش (۶، ۸، ۱۰ کیلوپاسکال)، سرعت پیشروی تسمه نقاله (۳، ۴، ۵ سانتی‌متر در ثانیه)، قطر سوراخ موزع (۰/۵، ۰/۷ میلی‌متر) و نوع مقطع سوراخ موزع (مخروطی و مستقیم) مورد ارزیابی قرار گرفت. آزمایش‌ها در ۵ تکرار انجام شد که برای هر تکرار موقعیت ۵۰ بذر اندازه‌گیری و ثبت شد. تجزیه و تحلیل داده‌ها به روش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با استفاده از نرم‌افزار MSTAT-C انجام شد.

۳- نتایج و بحث

۳-۱-۳ اثرات عوامل مورد بررسی بر شاخص نکاشت

مطابق جدول ۲ نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد از میان اثرات اصلی و متقابل، تنها اثر عامل‌های اصلی فشار مکش و سرعت خطی موزع در سطح احتمال ۱٪ و اثر متقابل دوگانه فشار مکش - سرعت خطی موزع در سطح احتمال ۵٪ بر شاخص نکاشت معنی دار است. با توجه به جدول ۳ مقایسه میانگین اثرات اصلی با افزایش فشار مکش از ۸- کیلوپاسکال به ۱۰- کیلوپاسکال و همچنین کاهش سرعت موزع از ۵ به ۴ سانتی‌متر در ثانیه، شاخص نکاشت کاهش معنی‌داری داشت. مطابق شکل ۳ بیشترین مقدار شاخص نکاشت در فشار مکش ۶- کیلوپاسکال و سرعت خطی موزع ۵ سانتی‌متر در ثانیه حاصل شد.

۲-۱-۲ بررسی شاخص‌های عملکردی برای ارزیابی دستگاه

۲-۱-۲-۱ شاخص نکاشت

شاخص نکاشت I_{miss} نشان‌دهنده میزان (درصد) فواصل بیشتر از ۱/۵ برابر فاصله نظری بذرها است (Kachman & Smith, 1995).

$$I_{miss} = \frac{X_1}{X} * 100 \quad (5)$$

که X_1 تعداد فواصل بیشتر از ۱/۵ برابر فاصله نظری بذرها و X تعداد کل فواصل اندازه‌گیری شده است.

۲-۱-۲-۲ شاخص چندکاشت

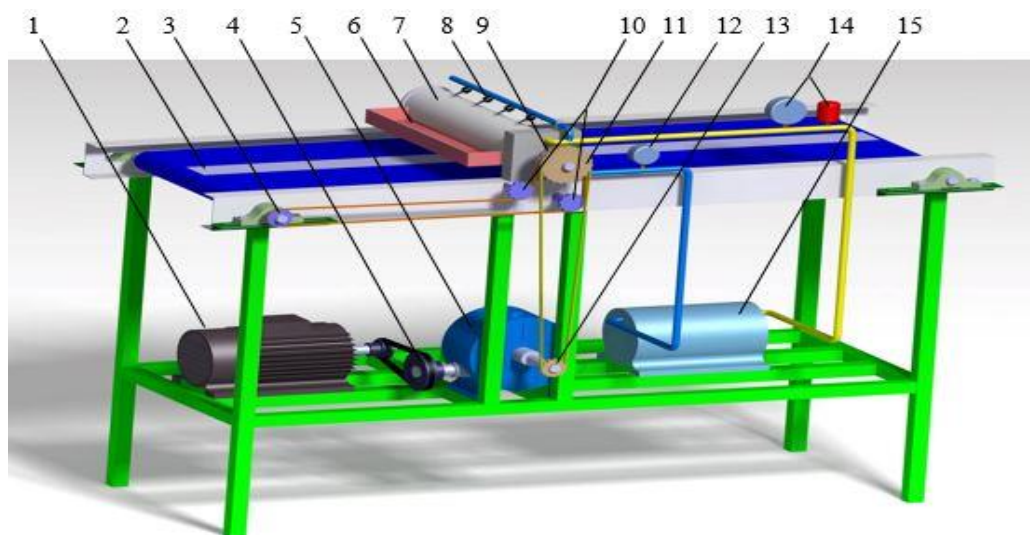
شاخص چندکاشت I_{mult} نشان‌دهنده میزان (درصد) فواصل کمتر یا مساوی نصف فاصله نظری بذرها است (Singh et al., 2005; Kachman & Smith, 1995).

$$I_{mult} = \frac{X_2}{X} * 100 \quad (6)$$

که X_2 تعداد فواصل کمتر یا مساوی نصف فاصله نظری بذرها است.

۲-۱-۳ شاخص کیفیت کاشت

شاخص کیفیت کاشت I_q نشان‌دهنده میزان (درصد) فواصل بیشتر از نصف و کمتر از ۱/۵ برابر فاصله نظری بذرها است. شاخص کیفیت کاشت روشی جایگزین برای ارائه درصد عملکرد نکاشت و چندکاشت است (Singh et al., 2005).



شکل ۲- مکانیزم موزع استوانه‌ای نیوماتیکی دقیق: (۱) الکتروموتور، (۲) تسمه چسبنده، (۳) چرخ‌دنده N_3 ، (۴) پولی، (۵) جعبه‌دنده، (۶) مخزن بذر، (۷) موزع استوانه‌ای، (۸) نازل بذر تک‌کن، (۹) چرخ‌دنده N_3 ، (۱۰) چرخ‌دنده‌های هرزگرد، (۱۱) چرخ‌دنده N_4 ، (۱۲) فشارسنج دهش هوا، (۱۳) چرخ‌دنده N_1 ، (۱۴) فشارسنج و تنظیم کننده مکش هوا، (۱۵) پمپ هوا

Fig 2. The mechanism of precision pneumatic cylindrical distributor: 1. Electromotor 2. Sticky belt 3. N_3 ($\omega_3 = \omega_{ch}$) 4. Pulley 5. Gearbox 6. Seed box 7. Cylindrical distributor 8. Seed clearing air nozzle (air blower) 9. N_2 ($\omega_2 = \omega_c$) 10. Idler gears 11. N_4 ($\omega_4 = \omega_c$) 12. Positive air pressure gauge 13. N_1 (ω_1) 14. Negative air pressure regulator and gauge 15. Air pump

نکاشت ارائه دهد.

$$I_{\text{miss}} = 3.21 + 0.66 * P + 1.25 * V \quad R^2 = 0.88 \quad (8)$$

$$I_{\text{miss}} = 17.52 + 1.93 * P - 3.68 * V + 0.08 * P^2 + 0.62 * V^2 \quad R^2 = 0.93 \quad (9)$$

اثر عوامل مورد مطالعه مربوط به قطر سوراخ موزع و شکل سوراخ بذر بر شاخص نکاشت معنی دار نشد. دلیل آن می تواند به کوچک بودن مقدار نسبت قطر متوسط هندسی بذر به قطر سوراخ های انتخاب شده موزع و همچنین خصوصیات فیزیکی همچون درصد بالای کروی بذر ارتباط داشته باشد.

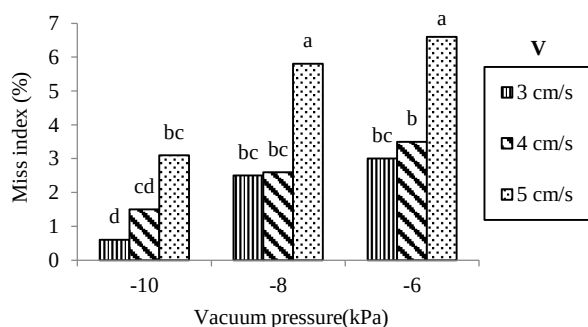
جدول ۳- مقایسه میانگین اثرات عوامل اصلی بر شاخص های عملکرد

Table 3. Comparing the mean effects of the main factors on performance indices

شاخص کیفیت کاشت	شاخص چندکاشت	شاخص نکاشت	تیمارها	
Quality of feed index (%)	Multiple index (%)	Miss index (%)	Treatments	
90.934 a	7.333 a	1.733 b	-10 kPa	P
90.067 a	6.433 ab	3.500 a	-8 kPa	
90.500 a	5.133 b	4.367 a	-6 kPa	
93.667 a	4.433 b	1.900 b	3 cm.s ⁻¹	V
91.700 a	5.767 b	2.533 b	4 cm.s ⁻¹	
86.133 b	8.700 a	5.167 a	5 cm.s ⁻¹	
90.444 a	6.489 a	3.067 a	0.5 mm	D
90.556 a	6.111 a	3.333 a	0.7 mm	
90.689 a	6.289 a	3.022 a	conic	F
90.311 a	6.311 a	3.378 a	simple	

حروف مشابه در هر تیمار نشان دهنده عدم معنی داری اثرات در سطح احتمال ۵٪ است.

Means within a group followed by same letter are not significantly different at probability p=0.05, by Duncan's multiple range test.



شکل ۳- مقایسه میانگین اثرات متقابل فشار مکش - سرعت خطی موزع بر شاخص نکاشت، V: سرعت خطی موزع

Fig 3. Comparison of the mean of dual interaction effects on the miss index, V: linear speed of the distributor

۲-۳- اثرات عوامل مورد بررسی بر شاخص چندکاشت

با توجه به جدول ۲ نتایج تجزیه واریانس اثر عوامل اصلی فشار مکش، سرعت خطی موزع، قطر سوراخ موزع بر شاخص چندکاشت معنی دار

جدول ۲- تجزیه واریانس اثرات عوامل مورد بررسی بر روی شاخص های مختلف عملکرد

Table 2. Analysis of variance of the effects of the study factors on different performance indices

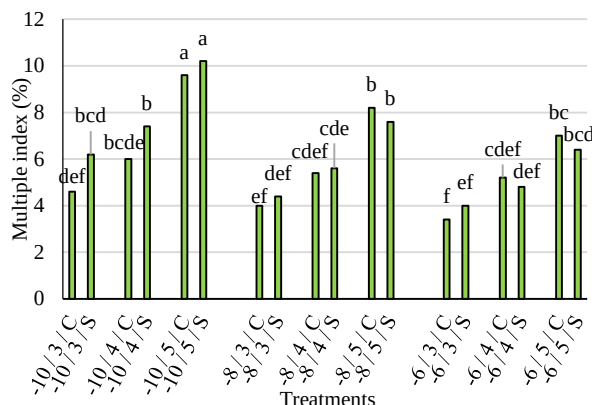
شاخص	شاخص چند	شاخص	درجه	منابع تغییرات
کیفیت کاشت	کاشت	نکاشت	آزادی	S.V
Quality of feed index	Multiple index	Miss index	df	
11.267 ns	73.4 **	108.067 **	2	فشار مکش (P)
916.067 **	258.867	180.067 **	2	سرعت خطی موزع (V)
11.533 *	8.767 **	4.333 *	4	اثرات متقابل (P×V)
0.556 ns	6.422 **	3.2 ns	1	قطر دهانه نازل (D)
5.489 ns	2.289 ns	0.867 ns	2	اثر متقابل (P×D)
0.822 ns	4.356 ns	1.4 ns	2	اثر متقابل (V×D)
10.356 *	9.122 **	0.067 ns	4	اثر متقابل (P×V×D)
6.422 ns	0.022 ns	5.689 ns	1	شکل مقطع نازل (F)
8.156 ns	18.422 **	2.689 ns	2	اثر متقابل (P×F)
6.822 ns	19.289 **	3.356 ns	2	اثر متقابل (V×F)
3.956 ns	6.789 **	1.356 ns	4	اثر متقابل (P×V×F)
27.222 **	33.8 **	0.356 ns	1	اثر متقابل (D×F)
10.289 ns	6.067 *	0.556 ns	2	اثر متقابل (P×D×F)
14.156 *	16.8 **	0.156 ns	2	اثر متقابل (V×D×F)
8.022 ns	2.967 ns	1.356 ns	4	اثر متقابل (P×V×D×F)
3.689	1.889	1.589	144	خطا
			179	مجموع
2.21	21.82	39.39		ضریب تغییرات (CV%)

** معنی داری در سطح احتمال ۱٪، * معنی داری در سطح احتمال ۵٪، ns عدم معنی داری

*Significant at 5% level, **Significant at 1% level, ns: Not significant

همچنین کمترین مقدار شاخص نکاشت در فشار مکش ۱۰- کیلوپاسکال و سرعت خطی موزع ۳ سانتی متر در ثانیه بدست آمد. با توجه به اینکه در فشار مکش بیشتر نیروی گیرایی بذر افزایش می یابد در نتیجه شاخص نکاشت کمتر می گردد و بالعکس در فشار مکش کمتر نیرو گیرایی کاهش یافته و شاخص نکاشت بیشتر می شود. همچنین با کاهش سرعت خطی موزع، سوراخ های موزع آهسته تر از مقابل مخزن بذر می گذرند در نتیجه فرصت بیشتری برای برداشتن بذر خواهند داشت به همین دلیل شاخص نکاشت کاهش می یابد. با افزایش سرعت خطی موزع این شرایط بالعکس می شود. نتایج این پژوهش با نتایج تحقیقات (Amiriyani et al., 2017) و (Jing et al., 2016) که به ترتیب بر روی دانه های ماش و کلم چینی انجام شد، مطابقت دارد. با توجه به روابط (۸) و (۹) و مقایسه مدل های خطی و غیر خطی حاصل از اثر متقابل دوگانه فشار مکش - سرعت خطی موزع بر شاخص نکاشت، مدل غیر خطی توانایی بالاتری نسبت به مدل خطی از خود نشان داد. بنابراین، در بررسی اثر متقابل این دو عامل انتخاب مدل غیر خطی می تواند تخمین مناسب تری از شاخص

نتایج مقایسه میانگین اثرات متقابل سه گانه فشار مکش - سرعت خطی موزع - شکل سوراخ نازل بر شاخص چند کاشت در شکل ۵ نشان می‌دهد که در سرعت‌ها و فشارهای مورد آزمایش تغییرات شکل سوراخ نازل بر شاخص چنددانه کاشت اثر معنی‌داری ندارد.



شکل ۵- مقایسه میانگین اثرات متقابل سه‌گانه فشار مکش - سرعت خطی موزع - شکل سوراخ نازل بر شاخص چندکاشت. اعداد و حروف در تیمارها به ترتیب از پایین به بالا نشان دهنده فشار مکش، سرعت خطی موزع و شکل سوراخ نازل (C: مخروطی، S: مستقیم) هستند

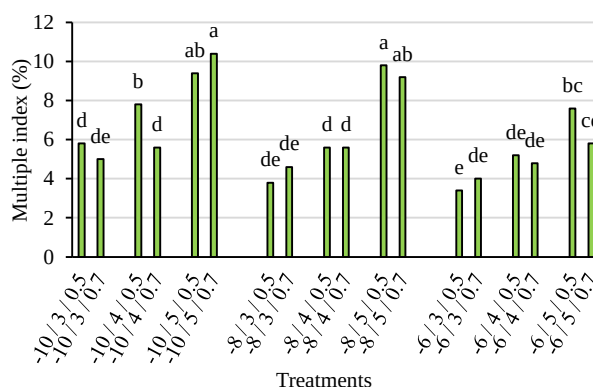
Fig 5. Comparison of the mean of triple interaction effects of the vacuum pressure, linear speed of the distributor and the shape of the seed hole on the multiple index. The numbers and letters in the treatments indicate the vacuum pressure, linear speed of the distributor and the shape of the nozzle hole (C: conic, S: straightforward), respectively

دلیل آن ممکن است به درصد بالای کرویت بذر و همچنین به بالا بودن میزان فشارهای مکش مورد آزمایش نسبت به جرم هزار دانه بذر مربوط شود. در فشارهای مکش ۸- و ۱۰- کیلو پاسکال با افزایش سرعت خطی موزع از ۴ به ۵ سانتی‌متر در ثانیه افزایش معنی‌داری در شاخص چنددانه کاشت مشاهده شد. همچنین در سرعت خطی ۵ سانتی‌متر در ثانیه با افزایش فشار مکش از ۸- به ۱۰- کیلو پاسکال افزایش معنی‌داری در این شاخص مشاهده شد. در فشار مکش ۶- کیلو پاسکال نیز با افزایش سرعت خطی از ۳ به ۵ سانتی‌متر در ثانیه افزایش معنی‌داری بر شاخص چندکاشت داشت. کمترین مقدار شاخص چندکاشت در فشار مکش ۶- کیلو پاسکال، سرعت ۳ سانتی‌متر در ثانیه و شکل سوراخ نازل مخروطی حاصل شد. همچنین بیشترین مقدار این شاخص در فشار مکش ۱۰- کیلو پاسکال، سرعت ۵ سانتی‌متر در ثانیه و شکل سوراخ نازل مستقیم بدست آمد.

نتایج مقایسه میانگین اثرات سه‌گانه فشار مکش - قطر سوراخ موزع - شکل سوراخ نازل بر شاخص چندکاشت در شکل ۶ نشان داد که کمترین مقدار شاخص چندکاشت با اختلاف معنی‌داری نسبت به تیمارهای دیگر در فشار مکش ۶- کیلو پاسکال، قطر ۰/۷ میلی‌متر و شکل سوراخ نازل مستقیم حاصل شد. همچنین بیشترین مقدار این

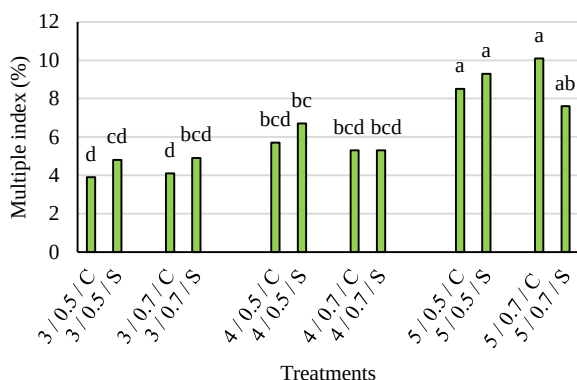
شد. اما اثر عامل شکل سوراخ بذر بر شاخص چندکاشت معنی‌دار نشد. همچنین اثرات تمامی عوامل متقابل سه‌گانه و دوگانه بجز عامل متقابل دوگانه فشار مکش - قطر سوراخ موزع بر شاخص چندکاشت معنی‌دار شد. اما اثرات عوامل متقابل چهارگانه معنی‌دار نبود.

نتایج مقایسه میانگین اثرات متقابل سه‌گانه فشار مکش - سرعت خطی موزع - قطر سوراخ موزع بر شاخص چندکاشت در شکل ۴ نشان می‌دهد که در سرعت‌ها و فشارهای مورد آزمایش اثر تغییرات قطر سوراخ موزع بر شاخص چندکاشت معنی‌دار نیست. دلیل آن ممکن است به کوچک بودن نسبت قطر متوسط هندسی بذر به قطر سوراخ‌های موزع مربوط شود. اما در فشارهای مکش مورد آزمایش با افزایش سرعت خطی موزع از ۴ به ۵ سانتی‌متر در ثانیه افزایش معنی‌داری در شاخص چندکاشت مشاهده شد. همچنین در سرعت ۵ سانتی‌متر در ثانیه با افزایش فشار مکش از ۶- به ۸- کیلو پاسکال افزایش معنی‌داری بر این شاخص داشت. کمترین مقدار شاخص چندکاشت در فشار مکش ۶- کیلو پاسکال، سرعت ۳ سانتی‌متر در ثانیه و قطر سوراخ موزع ۰/۵ میلی‌متر حاصل شد. همچنین بیشترین میزان این شاخص در فشار مکش ۱۰- کیلو پاسکال، سرعت ۵ سانتی‌متر و قطر سوراخ موزع ۰/۷ میلی‌متر بدست آمد. از آنجایی که افزایش فشار مکش باعث افزایش نیروی گیرایی بذر می‌شود، امکان تجمع بذر در کنار سوراخ‌های موزع افزایش می‌یابد. از طرف دیگر با افزایش سرعت خطی موزع، نازل دمنده هوا فرصت مناسبی برای دمیدن در بذرهای اضافی اطراف سوراخ‌های حامل بذر را نخواهد داشت. به همین دلیل، شاخص چندکاشت افزایش می‌یابد. نتایج این پژوهش با نتایج تحقیقات (Yazgi (2010 و Kush (2021 که بر روی بذر ذرت انجام شد، مطابقت دارد.



شکل ۴- مقایسه میانگین اثرات متقابل سه‌گانه فشار مکش - سرعت خطی موزع - قطر سوراخ موزع بر روی شاخص چندکاشت. اعداد مربوط به تیمارها به ترتیب از پایین به بالا نشان دهنده فشار مکش، سرعت خطی موزع و قطر سوراخ موزع است

Fig 4. Comparison of the mean of triple interaction effects of the vacuum pressure, linear speed of the distributor and diameter of the distributor hole on the multiple index. The numbers for the treatments indicate the vacuum pressure, linear speed of the distributor and the diameter of the distributor hole, respectively



شکل ۷- مقایسه میانگین اثرات متقابل سه گانه سرعت خطی موزع - قطر سوراخ موزع - شکل سوراخ نازل بر شاخص چندکاشت. اعداد و حروف در تیمارها به ترتیب از پایین به بالا نشان دهنده سرعت خطی موزع، قطر سوراخ موزع و شکل سوراخ نازل (C: مخروطی، S: مستقیم) هستند

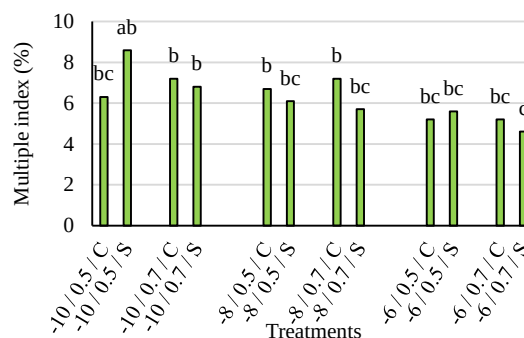
Fig 7. Comparison of the mean of triple interaction effects of the linear speed of the distributor, diameter of the distributor hole and the shape of the nozzle hole on the multiple index. The numbers and letters in the treatments indicate the linear speed of the distributor, diameter of the distributor hole and the shape of the nozzle hole (C: conic, S: straightforward), respectively

۳-۳- اثرات عوامل مورد بررسی بر شاخص کیفیت کاشت

نتایج تجزیه واریانس در جدول ۲ نشان داد که تنها اثر عامل اصلی سرعت خطی موزع بر شاخص کیفیت کاشت در سطح احتمال ۱٪ معنی دار است. همچنین اثر عوامل متقابل دوگانه فشار مکش - سرعت خطی موزع در سطح احتمال ۵٪ و اثر عوامل متقابل دوگانه قطر سوراخ موزع - شکل سوراخ نازل در سطح احتمال ۱٪ بر شاخص کیفیت کاشت معنی دار شد. همچنین اثر عوامل متقابل سه گانه فشار مکش - سرعت خطی موزع - قطر سوراخ موزع و اثر عوامل متقابل سه گانه سرعت خطی موزع - قطر سوراخ موزع - شکل سوراخ نازل بر شاخص کیفیت کاشت در سطح احتمال ۵٪ معنی دار شد اما اثر عوامل متقابل چهارگانه بر این شاخص معنی دار نشد.

با توجه به شکل ۸ نتایج مقایسه میانگین اثرات متقابل سه گانه فشار مکش - سرعت خطی موزع - قطر سوراخ موزع بر شاخص کیفیت کاشت نشان می‌دهد که اثر تغییرات قطر سوراخ موزع و فشارهای مورد آزمایش بر شاخص کیفیت کاشت معنی دار نیست. در فشارهای مکش مورد آزمایش افزایش سرعت خطی موزع از ۴ به ۵ سانتی متر در ثانیه تأثیر کاهشی معنی دار بر شاخص کیفیت کاشت داشت. بیشترین مقدار شاخص کیفیت کاشت در فشار مکش ۱۰- کیلو پاسکال، سرعت ۳ سانتی متر در ثانیه و قطر سوراخ موزع ۰/۷ میلی متر بدست آمد. همچنین کمترین مقدار شاخص کیفیت کاشت در فشار مکش ۱۰- کیلو پاسکال، سرعت ۵ سانتی متر در ثانیه و قطر سوراخ موزع ۰/۷ میلی متر حاصل شد. این نتایج را می توان با این استدلال توجیه کرد که افزایش فشار مکش از یک طرف سبب کاهش

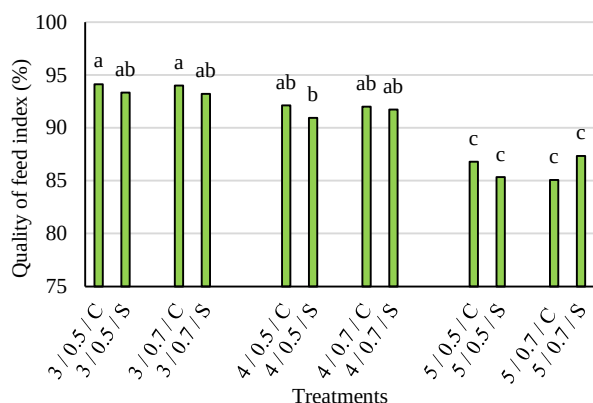
شاخص در فشار مکش ۱۰- کیلو پاسکال، قطر ۰/۵ میلی متر و شکل سوراخ نازل مستقیم بدست آمد. همانطور که قبل تر گفته شد در فشارهای مورد آزمایش تغییرات قطر و شکل سوراخ ها بر شاخص چندکاشت اثر معنی داری ندارد. نتایج بدست آمده نشان می‌دهد که تغییرات فشارهای مکش مورد آزمایش اثر نسبتاً کمی بر شاخص چنددانه کاشت دارد. دلیل آن همانطور که پیش تر اشاره شد ممکن است به بالا بودن میزان فشارهای مکش مورد آزمایش نسبت به جرم هزار دانه بذر در ارتباط باشد.



شکل ۶- مقایسه میانگین اثرات متقابل سه گانه فشار مکش - قطر سوراخ موزع - شکل سوراخ نازل بر شاخص چندکاشت. اعداد و حروف در تیمارها به ترتیب از پایین به بالا نشان دهنده فشار مکش، قطر سوراخ موزع و شکل سوراخ نازل (C: مخروطی، S: مستقیم) هستند

Fig 6. Comparison of the mean of triple interaction effects of the vacuum pressure, diameter of the distributor hole and shape of the seed hole on the multiple index. The numbers and letters in the treatments indicate the vacuum pressure, diameter of the distributor hole and the shape of the nozzle hole (C: conic, S: straightforward), respectively

مطابق شکل ۷ نتایج مقایسه میانگین اثرات سه گانه سرعت خطی موزع - قطر سوراخ موزع - شکل سوراخ نازل بر شاخص چندکاشت نشان داد که کمترین مقدار این شاخص در سرعت خطی موزع ۳ سانتی متر در ثانیه، قطر ۰/۵ میلی متر و شکل سوراخ نازل مخروطی حاصل شد. همچنین بیشترین مقدار این شاخص در سرعت خطی موزع ۵ سانتی متر در ثانیه، قطر ۰/۷ میلی متر و شکل سوراخ نازل مخروطی بدست آمد. همانطور که ذکر شد با وجود معنی دار نبودن اثر تغییرات قطر و شکل سوراخ های مورد آزمایش بر شاخص چنددانه کاشت نتایج بدست آمده نشان داد که افزایش سرعت خطی از ۴ به ۵ سانتی متر در ثانیه افزایش معنی داری بر شاخص چنددانه کاشت دارد. این موضوع نشان می‌دهد که تغییرات سرعت نسبت به تغییرات فشار تأثیر بیشتری بر این شاخص دارد. این نتیجه با نتایج تحقیقات Abdolazare *et al.*, (2016) که بر روی یک ردیفکار نیوماتیک در دو شرایط آزمایشگاهی و مزرعه ای با دو نوع بذر هندوانه و خیار انجام شد، مطابقت دارد.



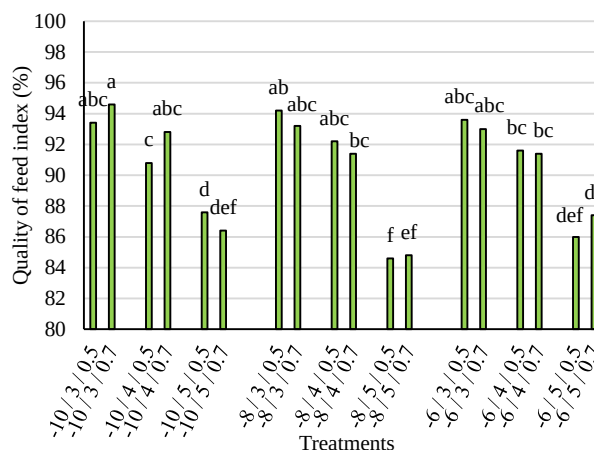
شکل ۹- مقایسه میانگین اثرات متقابل سه‌گانه سرعت خطی موزع - قطر سوراخ موزع - شکل سوراخ نازل بر شاخص کیفیت کاشت. اعداد و حروف در تیمارها به ترتیب از پایین به بالا نشان دهنده سرعت خطی موزع، قطر سوراخ موزع و شکل سوراخ نازل (C: مخروطی، S: مستقیم) هستند

Fig 9. Comparison of the mean of triple interaction effects of the linear speed of the distributor, diameter of the distributor hole and shape of the nozzle hole on the quality of feed index. The numbers and letters in the treatments indicate the linear speed of the distributor, diameter of the distributor hole and the shape of the nozzle hole (C: conic, S: straightforward), respectively

۴- نتیجه‌گیری نهایی

ارزیابی‌های انجام شده موزع استوانه‌ای نیوماتیکی بر روی بذر آویشن نشان داد که عوامل مورد آزمایش قطر سوراخ موزع و شکل سوراخ بذر اثر معنی‌داری بر شاخص‌های مورد مطالعه ندارند. دلیل آن ممکن است به کوچک بودن نسبت قطر متوسط هندسی بذر به قطر سوراخ‌های موزع، درصد بالای کروییت بذر و همچنین بالا بودن میزان فشارهای مکش مورد آزمایش نسبت به جرم هزار دانه بذر مربوط شود. اما عوامل فشار مکش و سرعت خطی موزع بر شاخص‌های مورد نظر اثرات معنی‌داری داشتند. به طوری که عامل سرعت خطی موزع نسبت به عامل فشار مکش تاثیر معنی‌دارتری داشت. با توجه به اینکه در سرعت‌های بالاتر عملیات کاشت بذر در زمان کوتاه‌تری انجام می‌شود، لذا زمان برای گیرایی بذر کم می‌شود و همچنین جارو کردن بذرهای اضافی اطراف سوراخ‌های بذر با کیفیت کمتر انجام می‌شود که به ترتیب باعث افزایش شاخص نکاشت و شاخص چندکاشت می‌گردد. همچنین کاهش فشار مکش باعث افزایش میزان شاخص نکاشت شد. در فشارهای بالاتر نیز اگرچه شاخص نکاشت کمتر شد ولی شاخص چنددانه کاشت رو به افزایش بود که به کمک نازل دمنده نیوماتیکی متعادل گردید. نتایج بررسی اثرات متقابل هر چهار عامل بر شاخص کیفیت کاشت نشان داد که بهترین میزان این شاخص ۹۵/۲٪ در سرعت پیشروی ۳ سانتی‌متر در ثانیه، فشار مکش ۱۰- کیلو پاسکال، قطر سوراخ‌های موزع ۰/۷ میلی‌متر و شکل سوراخ مخروطی بدست آمد.

شاخص نکاشت و از طرف دیگر منجر به افزایش شاخص چندکاشت می‌شود. همچنین نتایج آزمایشات نشان داد که افزایش فشار مکش بر روند کاهش شاخص نکاشت و افزایش شاخص چندکاشت تاثیر نسبتاً یکنواختی دارد. در نهایت با توجه به رابطه (۷) و نتایج بدست آمده استنباط می‌شود که فشارهای مکش مورد آزمایش تاثیر معنی‌داری بر شاخص کیفیت کاشت ندارد.



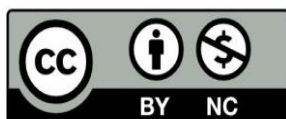
شکل ۸- مقایسه میانگین اثرات متقابل سه‌گانه فشار مکش - سرعت خطی موزع - قطر سوراخ موزع بر روی شاخص کیفیت کاشت. اعداد مربوط به تیمارها به ترتیب از پایین به بالا نشان دهنده فشار مکش، سرعت خطی موزع و قطر سوراخ موزع است

Fig 8. Comparison of the mean of triple interaction effects of the vacuum pressure, linear speed of the distributor and diameter of the distributor hole on the quality of feed index. The numbers for the treatments indicate the vacuum pressure, linear speed of the distributor and the diameter of the distributor hole, respectively

مطابق شکل ۹ نتایج مقایسه میانگین اثرات متقابل سه‌گانه سرعت خطی موزع - قطر سوراخ موزع - شکل سوراخ نازل بر شاخص کیفیت کاشت نشان می‌دهد که اثر تغییرات قطر و شکل سوراخ‌های مورد آزمایش بر این شاخص معنی‌دار نیست. این نتیجه با نتایج حاصل از تحقیقات (Dehghan et al., 2016) که به منظور کشت مستقیم برنج با استفاده از ردیفکار نیوماتیک مورد ارزیابی آزمایشگاهی قرار گرفت مطابقت ندارد. دلیل آن ممکن است به تفاوت در خواص فیزیکی از جمله ابعاد هندسی و جرم بذور مورد آزمایش مربوط شود. در سرعت‌های مورد آزمایش نیز با افزایش سرعت خطی موزع از ۴ به ۵ سانتی‌متر در ثانیه کاهش معنی‌داری بر شاخص کیفیت کاشت مشاهده شد. بیشترین و کمترین مقدار شاخص کیفیت کاشت به ترتیب در سرعت خطی موزع ۳ و ۵ سانتی‌متر در ثانیه حاصل شد. این نتایج را می‌توان با این استدلال توجیه کرد که افزایش سرعت خطی موزع از ۴ به ۵ سانتی‌متر در ثانیه باعث افزایش معنی‌دار شاخص نکاشت و شاخص چندکاشت شد. لذا با توجه به رابطه (۷) با افزایش سرعت خطی موزع از ۴ به ۵ سانتی‌متر در ثانیه، شاخص کیفیت کاشت نیز دچار کاهش معنی‌داری شده است.

منابع

- Abdollahzadeh, Z., Asoodar, M. A., Kazemi, N., Rahnema, M., Abdanan Mehdizadeh, S. (2016). Optimization of the most important operational parameters of a pneumatic seeder using real-time monitoring for Cucumber and Watermelon seeds. *Journal of Agricultural Machinery*, 6 (1), 35-48. (In Persian)
- Abdollahi Arpanahi, A., & Feizian, M. (2019). Variation in the Essential Oil Composition and Morphological Parameters of *Thymus daenensis* Clack. with Two Species of Mycorrhizal Fungi Under Water Deficit Conditions. *Journal of Essential Oil Bearing Plants*, 22 (3), 675-684.
- Aflakian, S., Zeinali, H., Maddah Arefy, H., Enteshary, S., & Kaveh, S. (2012). Study of yield and yield components in 11 ecotype of *Thymus daenensis* Celak. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research*, 28 (2), 187-197. (In Persian)
- Amiriyani, 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*, 48 (3), 271-278. (In Persian)
- Budynas, R. G., & Nisbett, J. K. (2011). *Shigley's Mechanical Engineering Design* (9th ed.): McGraw-Hill Higher Education.
- Dehghan, E., Sheikhdavoodi, M. J., Zaki-Dizaji, H., Gilani, A. (2016). Fabrication and Evaluation of Grooved Seed Plate for Dry-bed Seeding of Rice Using Pneumatic Row Crop Planter. *Journal of Engineering Research in Agricultural Mechanization and Systems*, 17 (66), 87-100. (In Persian)
- ERPO, Educational Research and Planning Organization. (2017). *Production and preparation of medicinal plants*: Iran Textbook Publishing Company. (In Persian)
- Fu, Y., Zhang, J., Wu, G., Lv, Y., Zhou, S., Sun, F., & Li, Z. (2016). Design and experiment of pneumatic cylinder-type precision seed-metering device. *Journal of Agricultural Mechanization Research*, 38 (1), 172-176.
- Gaikwad, B., & Sirohi, N. (2008). Design of a low-cost pneumatic seeder for nursery plug trays. *Biosystems Engineering*, 99 (3), 322-329.
- Gao, X., Zhou, J., & Lai, Q. (2016). Design and experiment of pneumatic cylinder precision seed-metering device for panax notoginseng. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 32 (2), 20-28.
- Kachman, S., & Smith, J. (1995). Alternative measures of accuracy in plant spacing for planters using single seed metering. *Transactions of the ASAE*, 38(2), 379-387.
- Kush, E. (2021). An Attempt to Evaluate the Performance Parameters of a Precision Vacuum Seeder in Different Seed Drop Height. *Journal of the Institute of Science and Technology*, 11 (3), 1846-1853.
- Movahedi, E., Rezvani, M., & Hemmat, A. (2014). Design, Development and Evaluation of a Pneumatic Seeder for Automatic Planting of Seeds in Cellular Trays. *Journal of Agricultural Machinery*, 4 (1), 65-72. (In Persian)
- Naghdi Badi, H., Labbafi, M., Qavami, N., Qaderi, A., Abdossi, V., Agharebparast, M., & Mehrafarin, A. (2015). Responses of quality and quantity yield of garden thyme (*Thymus vulgaris* L.) to foliar application of bio-stimulator based on amino acids and methanol. *Journal of Medicinal Plants*, 14 (54). (In Persian)
- Pedrini, S.; Merritt, D.J.; Stevens, J.; Dixon, K. Seed Coating: Science or Marketing Spin? *Trends Plant Science* 2017, 22 (2), 106-116.
- Safaei-Ghomi, J., Ebrahimabadi, A. H., Djafari-Bidgoli, Z., & Batooli, H. (2009). GC/MS analysis and in vitro antioxidant activity of essential oil and methanol extracts of *Thymus caramanicus* Jasas and its main constituent carvacrol. *Food Chemistry*, 115 (4), 1524-1528.
- Shujuan, Y., Yongfen, L., Chun, W., Guixiang, T., Haiyan, L., & Ruihan, W. (2014). Experimental study on the performance of bowl-tray rice precision seeder. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, 7 (1), 17-25.
- Singh, R., Singh, G., & Saraswat, D. (2005). Optimisation of design and operational parameters of a pneumatic seed metering device for planting cottonseeds. *Biosystems Engineering*, 92 (4), 429-438.
- Yazgi, A.; Degirmencioglu, A.; İsmet, Ö.; Bayram, E. (2010). Mathematical Modelling and Optimization of the Performance of a Metering Unit for Precision Corn Seeding. *Tarım Makinaları Bilimi Dergisi*, 6 (2), 107-113.
- Zhan, Z., Yaoming, L., Jin, C., & Lizhang, X. (2010). Numerical analysis and laboratory testing of seed spacing uniformity performance for vacuum-cylinder precision seeder. *Biosystems Engineering*, 106 (4), 344-351.
- Zhang, J., Li, Z., Liu, H., & Wu, G. (2016). Mathematical modeling and validation of seeder's suction-boundary on pneumatic-roller type metering. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 32 (23), 12-20.
- Zhang, S., Xia, J., Zhou, Y., Zhai, J., Guo, Y., Zhang, X., & Wu, H. (2015). Design and experiment of pneumatic cylinder-type precision direct seed-metering device for rice. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 31 (1), 11-19.
- Zhao, Z., Li, Y., Chen, J., & Zhou, H. (2011). Dynamic analysis on seeds pick-up process for vacuum-cylinder seeder. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 27 (7), 112-116.



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