

## Determining the Optimal Parameters of a Precise Vacuum-Cylinder Metering Device for Sowing of Iranian Lentil Seed

HOSSEIN BAGHERPOUR<sup>1\*</sup>, HOSSEIN HAJIAGHA ALIZADEH<sup>2</sup>

1. Assistant Professor, Department of Biosystems Engineering, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran

2. Assistant Professor, Department of Biosystems Engineering, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran

(Received: Jan. 4, 2018- Revised: July. 1, 2018- Accepted: July. 7, 2018)

### ABSTRACT

The main objective of this study is to investigate the performance of cylinder-type vacuum precision seeder and to find its optimum performance point. Mean seed spacing, Miss and Multiple indices of lentil seed were used to evaluate the optimum performance of metering device. In this study, the effect of vacuum pressure (30, 50 and 80 mbar), seed hole diameter (2, 3 and 4 mm) and conveyor speed (2, 4 and 6 km/h) were investigated on the metering device performance by using grease belt made and all assessments were conducted in a completely randomized design. Results showed that the optimum performance point of seed hole diameter, vacuum pressure and speed were determined as 3 mm, 50 mbar and 2 km/h. In this optimum point, the Miss Index, Multiple index and mean seed spacing were obtained as 6.55%, 8.82% and 6.18 cm, respectively. Maximum deviation of actual and nominal mean seed spacing was obtained at the seed hole diameter of 2 mm and grease belt speed of 6 km/h. The acceptable performance of metering device was obtained in the low speed of grease belt, medium seed hole diameter and medium vacuum pressure.

**Keywords:** Vacuum-cylinder metering device, Lentil, Miss index, Multiple index

## تعیین پارامترهای بهینه موزع سیلندر خلأی دقیق کار برای کشت عدس ایرانی

حسین باقرپور<sup>۱</sup>، حسین حاجی آقا علیزاده<sup>۲</sup>

۱. استادیار گروه مکانیک بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان

۲. استادیار گروه مکانیک بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان

(تاریخ دریافت: ۱۴/۱۰/۱۳۹۶ - تاریخ بازنگری: ۱۰/۴/۱۳۹۷ - تاریخ تصویب: ۱۶/۴/۱۳۹۷)

### چکیده

هدف اصلی این پژوهش بررسی عملکرد موزع سیلندر خلأی و تعیین نقاط بهینه عملکرد آن است. عملکرد بهینه دستگاه با استفاده از سه شاخص نکاشت، چنکاشت و میانگین فاصله بذرها برای محصول عدس بررسی گردید. در این پژوهش، با استفاده از گریس بت ساخته شده، اثر سه پارمتر فشار خلا (۳۰، ۵۰ و ۸۰ میلی‌بار)، قطر سوراخ‌ها (۲، ۳ و ۴ میلی‌متر) و سرعت نوار نقاله (۲، ۴ و ۶ کیلومتر بر ساعت) بر عملکرد موزع مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج حاصل از تست‌ها که به روش فاکتوریل و در قالب طرح کاملاً تصادفی انجام شد، نشان داد که نقطه بهینه عملکرد موزع در قطر سوراخ ۳ میلی‌متر، فشار خلا ۵۰ میلی‌بار و سرعت ۲ کیلومتر بر ساعت حاصل می‌شود. در این نقطه کاری، مقدار شاخص نکاشت، شاخص چنکاشت و هم‌چنین میانگین فاصله دانه‌ها به ترتیب برابر با ۶/۵۵٪، ۸/۸۲٪ و ۶/۱۸ سانتی‌متر به دست آمد. در قطر سوراخ ۲ میلی‌متر و سرعت ۶ کیلومتر بر ساعت بیش‌ترین انحراف میانگین بذرها از فاصله اسمی بدست آمد. در سرعت‌های پایین، فشار و قطر سوراخ متوسط، شاخص‌های عملکردی دستگاه در محدوده مناسبی قرار دارند.

**واژه‌های کلیدی:** موزع سیلندر خلأی، عدس، شاخص نکاشت، شاخص چنکاشت

### مقدمه

عدس به دلیل داشتن ارزش غذایی بالا از اهمیت زیادی برخوردار بوده و تقریباً در بسیاری از مناطق دیم ایران کاشته می‌شود. چون اکثر زمین‌های کشاورزی در ایران کوچک می‌باشند بنابراین بسیاری از کشاورزان این محصول را به صورت سنتی و یا دست‌پاشی می‌کارند. از آنجائیکه کاشت محصول به صورت مکانیزه باعث افزایش عملکرد محصول می‌شود بنابراین توسعه کارنده‌ای ساده و ارزان که قابلیت استفاده در زمین‌های کوچک را داشته باشد از اهمیت زیادی برخوردار است. هر چند تحقیقات گسترده‌ای در مورد کارنده‌های نیوماتیکی با موزع صفحه‌ای انجام شده است (Singh et al., 2005; Zhan et al., 2010) ولی در مورد کارنده با موزع سیلندری نوع خلأی که بسیار ساده‌تر از نوع صفحه‌ای است و هزینه ساخت آن نیز به مراتب پایین‌تر می‌باشد، هیچ گزارشی تا به حال در کاشت عدس پیدا نگردید. بنابراین توسعه این چنین کارنده‌ای می‌تواند جایگزین مناسبی برای روش‌های سنتی کاشت عدس باشد.

از میان دقیق کارها، بذر کار نیوماتیکی با موزع صفحه‌ای سوراخ دار به دلیل قابلیت خوب در کاشت، به طور وسیع در

بخش کشاورزی استفاده می‌گردد (Sauder et al., 2003). در تحقیق انجام گرفته بر روی دقیق کار نیوماتیکی با موزع صفحه‌ای، اثر سه متغیر سرعت دورانی موزع، زاویه ورود بذر به قسمت موزع و فشار خلا بر متغیرهایی مانند شاخص نکاشت<sup>۱</sup> و چنکاشت<sup>۲</sup> مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفت (Singh et al., 2005). نتایج این پژوهش نشان داد که بهترین عملکرد دستگاه در سرعت دورانی ۰/۴۲ متر بر ثانیه، قطر سوراخ ۲/۵ میلی‌متر و فشار خلا ۲ کیلوپاسکال بدست می‌آید. برای کاشت بذر ذرت و کتان با استفاده از دقیق کار نیوماتیکی با موزع نوع صفحه دار، اثر دو متغیر مهم یعنی سرعت پیش‌روی با مقادیر ۴/۸، ۷/۲ و ۹/۷ کیلومتر بر ساعت و مقادیر نظیر برای سرعت دورانی موزع یعنی ۰/۱۶، ۰/۲۳ و ۰/۳۱ متر بر ثانیه بر عملکرد دقیق کار مورد بررسی قرار گرفت. در این بررسی آن‌ها نشان دادند که مقدار واریانس فاصله بذرها با بیش‌تر شدن مقادیر سرعت افزایش می‌یابد و کم‌ترین واریانس در کم‌ترین سرعت حاصل می‌شود (Moody et al., 2003). در ارزیابی اثر سه سرعت پیش‌روی ۳/۶، ۵/۴ و ۷/۲ کیلومتر بر ساعت بر عملکرد کارنده نیوماتیکی کاشت دانه خربزه، هندوانه و خیار نتایج نشان داد که

1. Miss index  
2. Multiple index

\* نویسنده مسئول: h.bagherpour@basu.ac.ir

حفره ها به عنوان متغیرهای اصلی در نظر گرفته شدند. مقدار بهینه فشار خلاء و قطر سوراخ ها برای دانه کتان به ترتیب ۵/۵ کیلوپاسکال و ۳ میلی‌متر بدست آمد.

### مواد و روش‌ها

عدس مورد استفاده در این تحقیق از نوع رقم متداول و پاکوتاه سازگار با شرایط آب و هوایی دیم استان اردبیل و از روستای هل‌آباد با عرض جغرافیایی  $25^{\circ} 48'$  و طول  $56^{\circ} 16/5'$   $37^{\circ}$  تهیه شد. با توجه به توصیه انجام گرفته شده برای کاشت ۲۰۰ بوته در هر متر مربع (Shabiri, 2015) و با در نظر گرفتن فاصله ۱۰ سانتی‌متری بین ردیف‌ها، فاصله بین بوته‌ها پنج سانتی‌متر در نظر گرفته شد. برای کاشت عدس قطر آن فاکتور مهمی برای تعیین قطر سوراخ سیلندر مکشی در نظر گرفته شد. از آنجائیکه قطر و متوسط دانه عدس در حدود شش میلی‌متر می‌باشد بنابراین برای جلوگیری از ورود دانه‌ها به داخل سیلندر، حداکثر قطر سوراخ‌ها ۷۰ درصد قطر متوسط دانه ها در نظر گرفته شد. بنابراین برای بررسی اثر قطر سوراخ بر عملکرد ردیف کار، سه اندازه تقریبی ۳۰، ۵۰ و ۷۰ درصد متوسط قطر دانه‌ها، برای سوراخ سیلندر مکشی در نظر گرفته شد. البته در مورد تعیین اندازه دقیق قطر سوراخ‌ها، مقیاس خاصی وجود نداشته و حالتی که امکان گیر کردن دانه در داخل حفره یا رد شدن از آن وجود نداشته باشد کافی است و در بسیاری از پژوهش‌ها آن را در محدوده نصف بعد متوسط دانه‌ها در نظر می‌گیرند (Singh et al., 2005). خصوصیات ظاهری عدس که برای ۲۰۰ دانه بدست آمد در جدول (۱) نشان داده شده است و تعیین قطر سوراخ‌ها بر اساس این داده‌ها انجام گرفت. سایر مشخصات مهم فیزیکی مانند رطوبت (بر پایه تر)، چگالی و تخلخل نمونه عدس استفاده شده در این پژوهش به ترتیب برابر با ۸ درصد، ۷۹۶ کیلوگرم بر متر مکعب و ۴۱ درصد بدست آمد.

جدول ۱. خصوصیات ظاهری دانه عدس

| مشخصات ابعادی دانه | میانگین | بیشینه | کمینه | فاصله اطمینان ۹۵٪ |
|--------------------|---------|--------|-------|-------------------|
| قطر (mm)           | ۵/۸۷    | ۶/۲۴   | ۵/۱۷  | $5/87 \pm 0/31$   |
| ضخامت (mm)         | ۲/۴۲    | ۲/۸۶   | ۲/۰۸  | $2/42 \pm 0/21$   |

کارنده مورد استفاده در این تحقیق از نوع نیوماتیکی با موزع سیلندری خلای می‌باشد که بر خلاف نوع سیلندری فشاری، دانه‌ها توسط خلاء ایجاد شده در داخل محفظه سیلندر بر سطح بیرونی سیلندر چسبیده و با کمک صفحه نازک مماس بر محیط بیرونی سیلندر به داخل لوله سقوط، می‌افتند. در این

بیش‌ترین تغییرات در فاصله بذرها در سرعت ۷/۲ کیلومتر بر ساعت حاصل می‌شود و در سه سرعت پیش‌روی ذکر شده بالا اختلاف معنی‌داری در میانگین فاصله بذرها بدست آمد (Karayel and Ozmerzi, 2001).

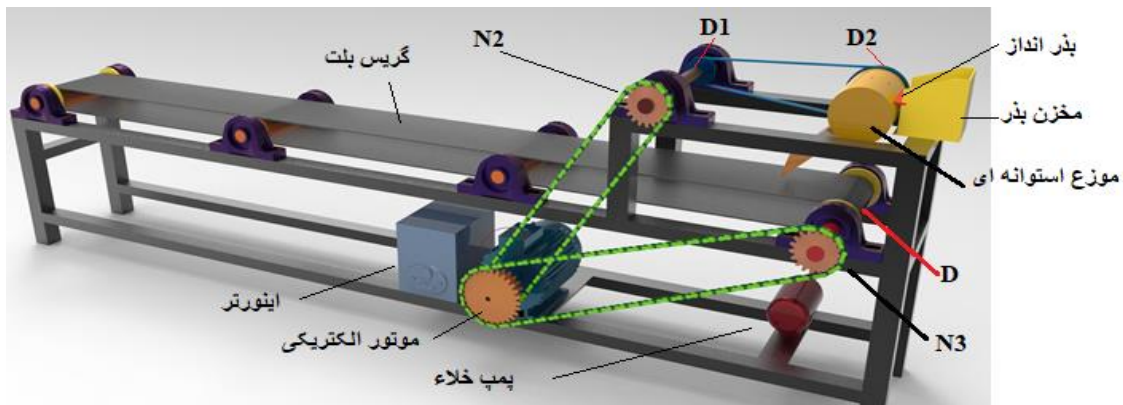
در کاشت بذرها شلغم با استفاده از کارنده خلای نوع سیلندری از فشار مثبت برای انداختن بذرها به داخل لوله سقوط استفاده شد. در این مطالعه، عملکرد ردیف‌کار و مقایسه دو روش تست آزمایشگاهی و تحلیل عددی با بررسی یک-نواختی فاصله بذرها انجام گرفت. مقدار نیروی وارد از حفره استوانه بر بذرها با استفاده از نرم افزار دینامیکی سیالات محاسباتی<sup>۱</sup> (CFD) محاسبه گردید. در این پژوهش مقایسه زمان و فاصله افقی سقوط بذرها با استفاده از روش محاسباتی و همچنین دوربین‌های فوق سریع انجام گرفت. نتایج نشان داد که بهینه ترین مقدار برای اختلاف فشار منفی مکش و مثبت سقوط و هم‌چنین زاویه سقوط بذرها به ترتیب در محدوده ۰ تا ۲ کیلوپاسکال و ۰ تا منفی ۱۰ درجه قرار دارد (Zhan et al., 2010). مدل ریاضی ارتباط بین خصوصیات فیزیکی بذرها با مقدار فشار بهینه برای کاشت بذرهایی مانند ذرت، کتان، سویا، هندوانه، خربزه، خیار، چغندر قند و پیاز بدست آمد. مقدار حداکثر و حداقل فشار مورد نیاز برای کاشت چغندر قند و پیاز به ترتیب برابر با ۴ و ۱ kPa گزارش گردید. برای سایر بذرها نیز مقدار بهینه در محدوده ۴-۱ kPa گزارش گردید (Karayel et al., 2004). با توسعه حسگرهای نوری توسط Lan et al., 1999 و اندازه‌گیری فاصله زمانی سقوط بذرها امکان سنجش یکنواختی فاصله بذرها بررسی گردید. برای تشخیص سقوط بذرها از ۲۴ عدد ترانزیستور نوری استفاده گردید که به عنوان گیرنده نور عمل می‌کردند. از دیودهای ساطع کننده نور نیز به عنوان فرستنده استفاده شد. در مطالعه و پژوهشی مشابه که بر روی بذر چغندر قند انجام گرفته بود از متغیر توزیع یکنواختی فاصله بذرها به عنوان ضریب دقت دستگاه استفاده شده بود (Panning et al., 2000). بیش‌تر شاخص‌هایی که برای بررسی عملکرد دقیق کار بکار برده می‌شود شامل انحراف از میانگین فاصله ردیف‌ها (Hollewell, 1992)، شاخص نکاشت و چندکاشت (Brooks and Church, 1987) می‌باشند. بررسی یکنواختی فاصله بذرها با استفاده از روش سطح پاسخ مورد ارزیابی قرار گرفت (Yazgi and Degirmencioglu, 2007). سرعت دورانی صفحه موزع، مقدار فشار خلاء و اندازه سوراخ

دندانه چرخنده میانی،  $N_3$  تعداد دندانه چرخنده متصل به سیلندر محرک تسمه،  $D_1$  قطر پولی میانی (mm)،  $D_2$  قطر پولی نهایی (mm)،  $D$  قطر سیلندر محرک تسمه (mm) و  $\lambda$  نیز تعداد سوراخ های سیلندر مکشی و می باشند. در این پژوهش از آنجائیکه تسمه نقاله و سیلندر دورانی از یک منبع توان نیرو می گیرند بنابراین با افزایش سرعت تسمه نقاله، سرعت دورانی موزع نیز بیش تر می شود بنابراین فاصله اسمی بین بذرها در هر سرعت پیش روی یا سرعت تسمه نقاله ثابت می باشد.

پژوهش از لبه تیز شده پروفیل قوطی به ابعاد  $2 \times 2$  cm به عنوان لوله سقوط استفاده گردید. همان طوری که در شکل (۱) نشان داده شده است سیلندر مکشی بر پولی نهایی متصل شده و پولی نیز توسط یک بلبرینگ بر روی لوله مکش ثابت سوار شده است. با توجه به ابعاد پولی میانی، سیلندر محرک نوار نقاله و چرخنده ها، قطر پولی نهایی توسط رابطه ۱ تعیین گردید (Zhan et al, 2010).

$$S = \frac{N_2 D_2}{N_3 D_1} \frac{\pi D}{10 \times \lambda} \quad (\text{رابطه ۱})$$

که در این رابطه  $S$  فاصله اسمی بذرها (cm)،  $N_2$  تعداد



شکل ۱. موزع استوانه ای خلأی، مکانیزم محرک و قسمت های مختلف آن

## شاخص های ارزیابی عملکرد کارنده

### میانگین فاصله بذرها

این شاخص برای بررسی دقت دستگاه در کاشت بذرها در فاصله نزدیک به مقدار اسمی است. هر چه قدر این فاصله به مقدار اسمی نزدیک تر باشد نشانگر وضعیت مناسب بذرکار در کاشت بذرها است. این شاخص تنها زمانی می تواند نشانه خوبی از وضعیت دستگاه باشد که دو شاخص دیگر یعنی شاخص چندکاشت و نکاشت در محدوده پایینی قرار گیرد. (Singh et al., 2005)

### شاخص چندکاشت

شاخص چندکاشت نشانگر تحویل بیش از یک بذر در یک مکان می باشد و زمانی که فاصله بذرها کمتر از نصف فاصله اسمی بذرها باشد این فاصله در محاسبه شاخص چندکاشت لحاظ خواهد شد (Singh et al., 2005; Kachman and Smith, 1995). این شاخص از طریق رابطه (۲) زیر محاسبه می گردد.

$$I_{multi}\% = \frac{n}{N} \times 100 \quad (\text{رابطه ۲})$$

در این رابطه  $I_{multi}$  نشانگر شاخص چندکاشت (%،  $n$ ، تعداد فاصله های اندازه گیری شده کمتر از  $2/5$  سانتیمتر و  $N$  نیز تعداد کل فاصله های اندازه گیری شده است.

اندازه گیری فشار داخل سیلندر با استفاده از خلاسنج عقربه ای<sup>۱</sup> با دقت ۲ میلی بار و محدوده فشار ۰ تا ۱۰۰ میلی بار اندازه گیری شد. برای ایجاد سرعت های مختلف در تسمه نقاله از اینورتر (LG Industrial System Co., Korea, Starvert-iG5) متصل به موتور الکتریکی با قدرت ۴/۵ kW استفاده گردید. برای جلوگیری از پرش دانه ها از روی سطح تسمه، سطح آن با لایه ای ضخیم از گریس پوشانده شد.

در این آزمایش سه پارامتر فشار خلاء (۳۰، ۵۰ و ۸۰ میلی بار)، سرعت پیش روی تسمه (۲، ۴ و ۶ کیلومتر بر ساعت) و قطر سوراخ ها (۲، ۳ و ۴ میلی متر) بر عملکرد کارنده مورد ارزیابی قرار گرفت و تمامی آزمایش ها به روش فاکتوریل و در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار انجام شد. برای بررسی شاخص ها و عملکرد کارنده فاصله ۳۰ بذر اندازه گیری و ثبت گردید. تحلیل آماری داده ها با استفاده از نرم افزار SPSS (The SPSS Inc., Chicago, IL, Version 16) و MATLAB (Mathworks, Inc., Natick, MA, USA, Version 15) انجام گرفت.

می باشد (جدول ۲). در اکثر تحقیقات انجام گرفته در مورد کارنده‌هایی مانند کارنده نیوماتیکی با موزع صفحه عمودی برای کاشت بذر کتان (Singh et al., 2005) و موزع سیلندری با فشار تفاضلی مثبت برای کاشت بذر شلغم (Zhan et al., 2010)، نتایج نشان می‌دهد که فاکتورهای فشار، و قطر سوراخ، اثر معنی داری بر متوسط فاصله بذرها و شاخص های نکاشت و چندکاشت دارند.

با برازش منحنی، نتایج نشان داد که مدل درجه دو دارای بهترین برازش بر داده ها بوده و می توان به وسیله آن تخمین مناسبی از عملکرد موزع در نقاط مختلف کاری بدست آورد. نتایج حاصل از شکل (۲) نشان می دهد که متوسط فاصله بذرها با کاهش سرعت خطی تسمه نقاله کمتر شده و نزدیکترین فاصله متوسط بذرها به مقدار اسمی ۵ سانتی‌متر در محدوده قطر سوراخ ۲/۵ تا ۳/۵ میلی‌متر حاصل می‌شود.

### شاخص نکاشت

این شاخص نشانگر درصدی از فاصله ها است که از ۱/۵ برابر فاصله اسمی بین بذرها تجاوز کند (Bakhtiari and Loghavi, 2010). مقدار این شاخص از رابطه (۳) زیر محاسبه می گردد.

$$I_{miss} \% = \frac{m}{N} \times 100 \quad (\text{رابطه ۳})$$

در این رابطه  $I_{miss}$  شاخص نکاشت (٪)،  $m$  تعداد فاصله‌های بیش‌تر از ۱/۵ برابر فاصله اسمی و  $N$  نیز تعداد کل فاصله‌های اندازه گیری شده است.

### نتایج و بحث

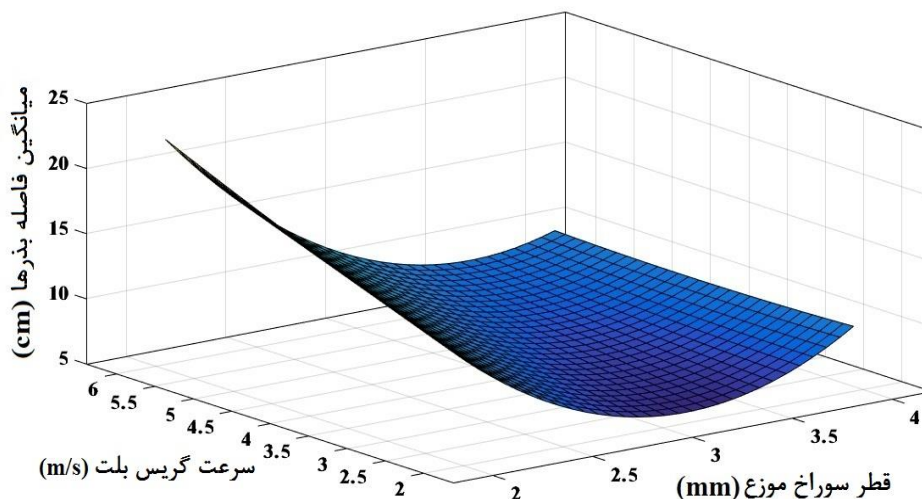
#### اثر عوامل اصلی بر متوسط فاصله بذرها

در بررسی اثر عوامل اصلی فشار خلاء، قطر سوراخ‌ها و سرعت کاشت بر میانگین فاصله بذرها، نتایج نشان داد که در سطح آماری یک‌درصد اثر این عوامل بر میانگین فاصله بذرها معنی‌دار

جدول ۲. تحلیل واریانس عوامل موثر بر شاخص های عملکردی موزع نیوماتیکی نوع سیلندری

| منابع تغییرات | درجه آزادی | میانگین مربعات | شاخص نکاشت | شاخص چندکاشت |
|---------------|------------|----------------|------------|--------------|
| قطر سوراخ (D) | ۲          | ۱۸۹۳۸/۶۸۸**    | ۸۳۸۱/۲۸۴** | ۱۶۳۱/۷۲۷**   |
| فشار خلاء (P) | ۲          | ۱۸۰۱/۵۴۵**     | ۲۸۲۸/۲۴۹** | ۴۷۲/۴۹۵**    |
| سرعت (S)      | ۲          | ۶۴۲۰/۰۱۰**     | ۱۷۶۸/۵۶۰** | ۵۶/۵۱۶**     |
| D*P           | ۴          | ۸۲۲/۳۸۹**      | ۵۵۷/۳۴۸**  | ۷۸/۳۷۰**     |
| D*S           | ۴          | ۴۰۷۸/۳۹۴**     | ۴۵۷/۴۱۱**  | ۱۵/۱۷۸**     |
| S*P           | ۴          | ۴۳۹/۶۸۴**      | ۵۳/۷۳۵**   | ۱۵/۹۶۲**     |
| D*P*S         | ۸          | ۳۳۵/۷۶۸*       | ۳۶/۲۵۶*    | ۸/۱۲۶*       |
| Cv %          |            | ۰/۷۲           | ۰/۷۹       | ۰/۶۵         |

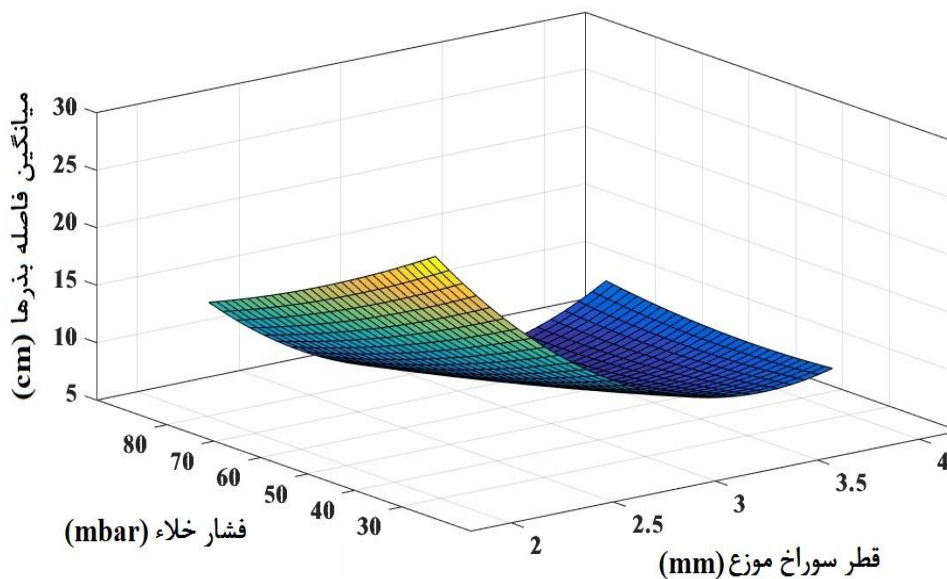
\*\* معنی دار بودن در سطح ۱٪، \* معنی دار بودن در سطح ۵٪



شکل ۲. اثر تغییرات سرعت تسمه و قطر سوراخ بر مقدار متوسط فاصله بین بذرها

می‌توان چنین استنباط کرد که در قطرهای کوچکتر، تعداد از دست رفتن بذرها و یا شاخص نکاشت بیش‌تر شده و در سوراخ‌های با قطر زیاد نیز این امکان وجود دارد که فشار خلاء به دلیل قطر زیاد سوراخ‌ها کمتر شده و در نتیجه مکش کافی برای گرفتن بذرها و استقرار آن‌ها وجود نداشته باشد. نتایج حاصل از این تحقیق با نتایج Singh et al. (2005) که بر روی بذر کتان کار کرده بودند هم‌خوانی دارد.

در ارزیابی اثر قطر سوراخ و فشار خلاء بر مقدار متوسط فاصله بذرها، نتایج حاصل از شکل (۳) نشان می‌دهد که فاصله متوسط بذرها با افزایش فشار خلاء کمتر شده و همانند تحلیل قبلی، این مقدار در قطر ۳ میلی‌متر دارای کم‌ترین مقدار می‌باشد. دلیل افزایش فاصله متوسط بین بذرها در سرعت بالا به این دلیل است که سوراخ‌ها زمان کافی برای گرفتن بذرها را ندارند و همچنین در بررسی اثر اندازه قطر بر این شاخص



شکل ۳. اثر تغییرات فشار خلاء و قطر سوراخ بر مقدار متوسط فاصله بین بذرها

ابتدا متغیرهای قطر با متوسط ۳ mm و انحراف استاندارد ۰/۸۲، سرعت با متوسط ۴ km/h و انحراف استاندارد ۱/۶۲ و همچنین فشار با متوسط ۵۳/۳۳ mbar و انحراف استاندارد ۲۰/۶۸ نرمال گردیدند.

$$S_{mean} = 10.14 - 1.93d + 0.89v \quad (\text{رابطه ۴})$$

(R<sup>2</sup>= 0.85, RMSE=3.18)

$$S_{mean} = 9.86 - 1.61d - 0.61p \quad (\text{رابطه ۵})$$

(R<sup>2</sup>= 0.75, RMSE=3.78)

$$S_{mean} = 8.62 - 0.41p + 0.38v \quad (\text{رابطه ۶})$$

(R<sup>2</sup>= 0.83, RMSE=3.11)

(رابطه ۷)

$$S_{mean} = 8.04 - 4.24d + 1.92v + 3.76d^2 - 1.60dv + 0.47v^2$$

(R<sup>2</sup>= 0.93, RMSE=1.23)

(رابطه ۸)

$$S_{mean} = 7.60 - 4.70d - 2.18p + 4.38d^2 + 1.97dp + 0.42p^2$$

(R<sup>2</sup>= 0.81, RMSE=1.08)

(رابطه ۹)

$$S_{mean} = 8.01 - 0.53p + 0.46v + 0.26p^2 - 0.52pv + 0.25v^2$$

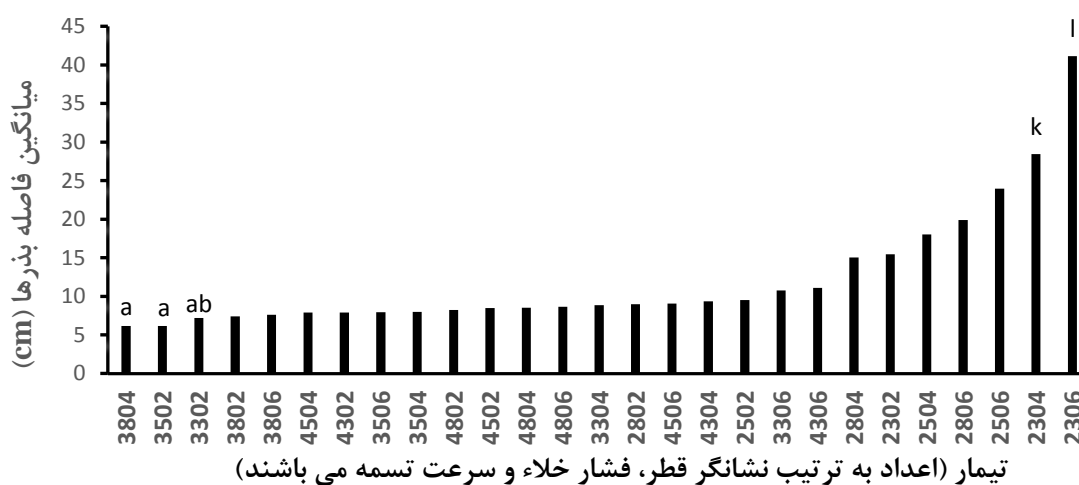
(R<sup>2</sup>= 0.74, RMSE=3.23)

در روابط بالا، متغیر d قطر سوراخ موزع استوانه‌ای (mm)،

با مقایسه مدل‌های خطی و غیر خطی (رابطه‌های ۴، ۵، ۷ و ۸) حاصل از اثر قطر- سرعت و قطر - فشار بر مقدار میانگین فاصله بذرها، مدل‌های غیرخطی توانایی بالاتری نسبت به مدل خطی از خود نشان دادند. بنابراین در بررسی اثر متقابل این عوامل انتخاب مدل‌های غیرخطی می‌تواند تخمین مناسبی از میانگین فاصله بذرها نشان دهد. اما در بررسی اثر سرعت و فشار بر مقدار متوسط فاصله بذرها، مدل خطی نسبت به مدل غیرخطی دارای ضریب برازش بیشتر و خطای کمتری است. در نتیجه در بررسی اثر متقابل این دو عامل انتخاب مدل خطی مناسب‌تر می‌باشد. مدل‌های غیر خطی حاصل از روابط ۷ و ۸ نشان می‌دهند که هر چند هر دو عامل قطر سوراخ، سرعت و فشار بر متوسط فاصله بذرها ( $S_{mean}$ ) تاثیر گذار هستند ولی اثر قطر نسبت به دو پارامتر دیگر تاثیر بیشتری بر مقدار متوسط فاصله‌ها دارد. از طرفی نتیجه مدل‌های ۶ و ۹ نشان می‌دهد که هر دو متغیر فشار و سرعت تاثیر تقریباً یکسانی بر مقدار متوسط فاصله بذرها دارند

لازم به ذکر است که قبل از بدست آوردن این معادلات،

استفاده شود لازم است سرعت کمتر شده و یا قطر سوراخ ها بیش تر شود. هم چنین در حالت سرعت بالا تنها می توان از دو فشار ۵۰ و ۸۰ میلی بار استفاده کرد. این نتایج نشان می دهد که بیشترین فاصله متوسط بذر ها در قطر سوراخ ۲ میلی متر بدست می آید و اختلاف معنی داری با قطرهای ۳ و ۴ میلی متری دارد. در شکل (۳) اعداد سه رقمی ذکر شده به عنوان تیمار، به ترتیب رقم اول نشان دهنده قطر سوراخ (mm)، دو رقم دوم نشان دهنده فشار خلای (mbar)، و یک رقم آخر نیز نشانگر سرعت تسمه نقاله (km/h) می باشند.



شکل ۴. بررسی اثر متقابل قطر سوراخ، فشار خلای و سرعت تسمه بر مقدار متوسط میانگین بذر ها

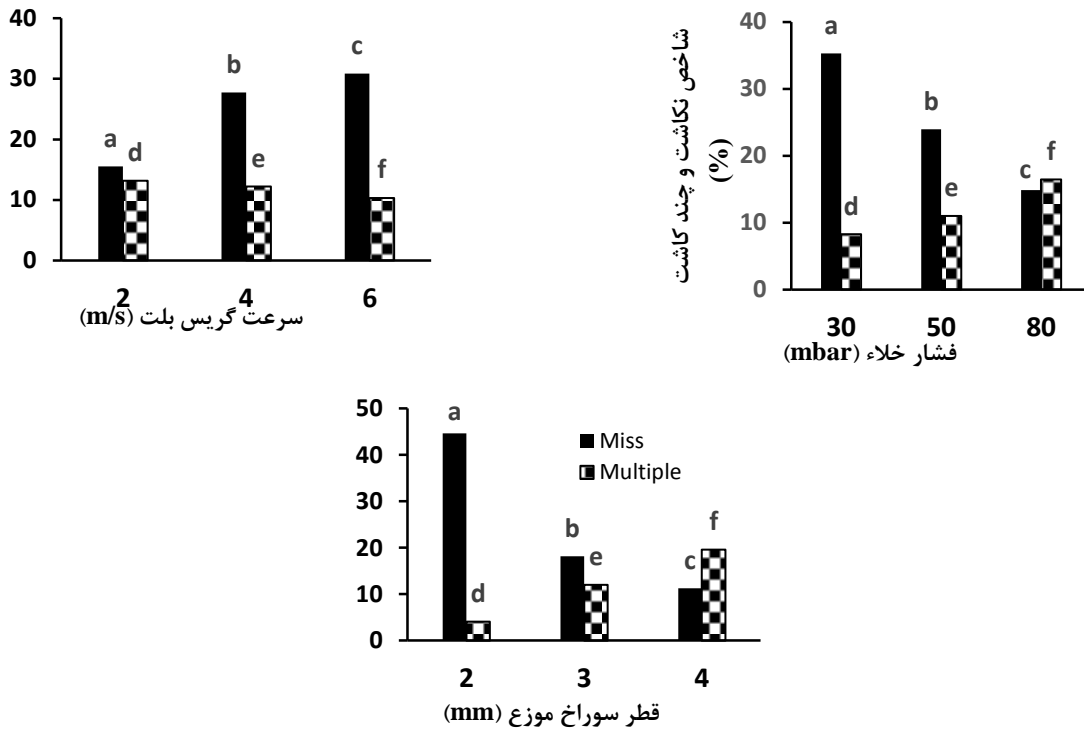
سرعت ۶ متر بر ثانیه حاصل شد. در ارزیابی اثر قطر سوراخ، اختلاف قابل توجهی بین قطرهای ۳ و ۴ میلی متر با قطر ۲ میلی متر دیده می شود. در قطر ۲ میلی متر به دلیل کاهش قابل توجه سطح گیرایی، نیروی گیرایی کمتر شده و در نتیجه امکان افتادن محصول در زمان چرخش موزع و یا عدم گرفتن آن بیش تر می گردد. در ارزیابی شاخص نکاشت، نتایج این پژوهش با نتایج (Amiriyan et al. 2017) که در تحقیق خود عملکرد سیلندر فشاری را مورد مطالعه قرار داده بودند، مطابقت دارد ولی در مورد شاخص چندکاشت در سرعت های بالاتر، نتایج این دو پژوهش با هم فرق دارند. که دلیل این اختلاف می تواند ناشی از شکل دهنه لوله سقوط و هم چنین جریان بذر در زمان افتادن بذر به درون لوله سقوط باشد. در این پژوهش چون از خلای استفاده شده است بنابراین در زمان سقوط تنها نیروی ثقل باعث افتادن بذر به داخل لوله سقوط شده و در نتیجه نابرابری زمان سقوط به دلیل برخورد بذر ها با دهنه لوله سقوط و جهش آن ها به حداقل می رسد.

سرعت تسمه یا سرعت پیشروی ماشین (km/h) و  $p$  نیز فشار خلای داخل موزع استوانه ای (mbar) می باشند.

در بررسی اثر متقابل سرعت، فشار و قطر بر مقدار متوسط فاصله بذر ها (شکل ۴)، کمترین فاصله متوسط بذر ها با مقادیر ۶/۱۵ سانتی متر، در قطر ۳ میلی متر، فشار ۸۰ میلی بار و سرعت ۴ متر بر ثانیه بدست آمد. هر چند بین ۸ تیمار اول اختلاف آماری معنی داری وجود ندارد ولی با توجه به نوع متغیرها، می توان نتیجه گرفت که برای نزدیک شدن به فاصله اسمی بین بذر ها، لازم است بین متغیرها یک همخوانی مناسبی وجود داشته باشد. به این ترتیب که اگر قرار باشد فشار کمتر

#### بررسی اثر متغیرهای اصلی بر شاخص های نکاشت و شاخص چندکاشت

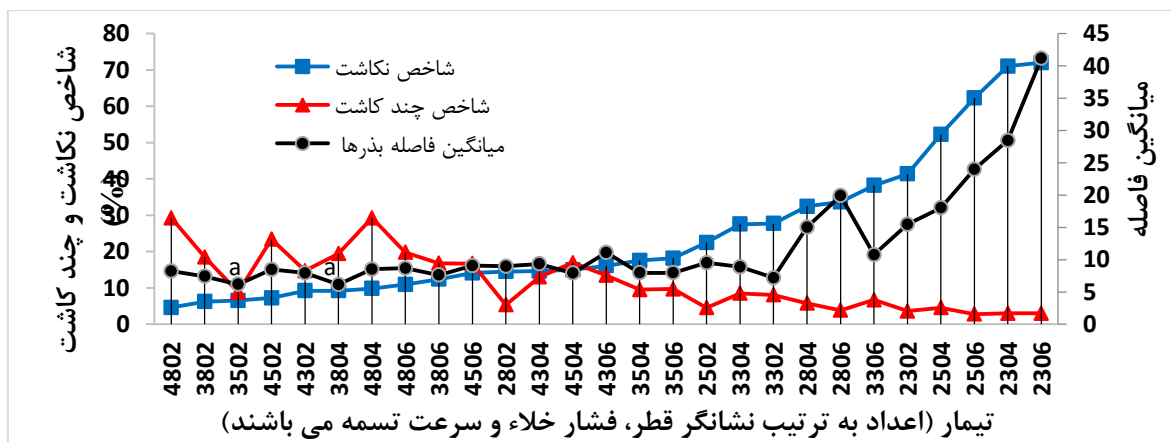
در بررسی اثر متغیرهای قطر سوراخ، فشار خلای و سرعت تسمه بر مقدار شاخص های چندکاشت و نکاشت بذر، نتایج (شکل ۵) نشان داد که برای هر کدام از این شاخص ها، اختلاف معنی داری در سطوح مختلف متغیرها وجود دارد. در بررسی اثر فشار خلای، به ترتیب کمترین و بیشترین مقدار شاخص نکاشت و چندکاشت در فشار ۸۰ میلی بار بدست آمد. در این فشار به دلیل ایجاد خلای زیاد امکان گیرایی سوراخ ها زیاد شده و در نتیجه شاخص چندکاشت بیش تر و نکاشت کمتر می گردد. در فشار خلای ۳۰ میلی بار به دلیل فشار کمتر امکان گیرایی کمتر شده و در نتیجه شاخص ازدست رفتگی بیش تر و شاخص چندکاشت کمتر می گردد. در بررسی اثر سرعت، به دلیل اینکه سوراخ ها زمان بیش تری در داخل مخزن بذر می مانند بنابراین کمترین مقدار شاخص ازدست رفتگی در سرعت ۲ متر بر ثانیه بدست آمد. از طرفی کمترین مقدار شاخص چندکاشت نیز در



شکل ۵. بررسی اثر متغیرهای سرعت تسمه، فشار خلاء و قطر سوراخ بذر بر مقدار شاخص های نکاشت و چندکاشت

چندکاشت و شاخص نکاشت، اختلاف آماری معنی داری بین میانگین‌های مقادیری نکاشت و چند کاشت در این دو تیمار وجود دارد. بنابراین از بین دو تیمار ذکر شده بالا، تیمار ۲-۵۰-۳ انتخاب مناسبی برای شرایط کاری دستگاه می‌باشد. مقادیر شاخص نکاشت به ترتیب برای تیمارهای ۲-۵۰-۳ و ۴-۸۰-۳ برابر با ۶/۵۵٪ و ۹/۲۳٪ و شاخص چندکاشت نیز به ترتیب برای همین تیمارها برابر یا ۸/۸۲٪ و ۱۹/۴۴٪ بدست آمد. یکی از مهمترین دلایل تاثیر گذار بر عملکرد موزع در سرعت‌های بالا این است که سوراخ‌ها زمان کافی برای گیرایی بذر را نداشته و در نتیجه مقدار شاخص نکاشت بیش‌تر می‌گردد.

در بررسی اثر متقابل سه گانه سرعت تسمه، قطر سوراخ و فشار خلاء، نتایج نشان داد که مقدار بهینه متغیرهای فاصله متوسط بذر، و کمترین مقدار شاخص نکاشت و شاخص چندکاشت در قطر سوراخ ۳ میلی متر، فشار ۵۰ میلی بار و سرعت خطی ۲ کیلو متر بر ساعت بدست می‌آید. هم‌چنان که شکل (۶) نشان می‌دهد، کم‌ترین مقدار متوسط فاصله بذر با مقادیرهای ۶/۱۸ و ۶/۱۵ سانتی متر به ترتیب در تیمارهای ۲-۵۰-۳ و ۴-۸۰-۳ حاصل گردید و از آنجائیکه اختلاف معنی داری بین آن‌ها نیست پس از نظر آماری این میانگین با هم مساوی هستند. ولی با مقایسه مقادیر مربوط به شاخص



شکل ۶. تغییرات سه متغیر فاصله متوسط بذر، شاخص نکاشت و چندکاشت در تیمارهای مختلف



## نتیجه گیری

طراحی و ساخت هر نوع ردیف کاری نیازمند طراحی و ارزیابی آزمایشگاهی اولیه است. ردیف کار نیوماتیکی نوع سیلندری از جمله ردیف کارهایی است که به دلیل ساخت و بکارگیری آسان و کم هزینه، می تواند برای کشاورزی ایران که دارای زمین های کوچکتری است، مورد مناسبی باشد. نتایج تحقیق نشان داد که هر سه پارامتر فشار خلاء، قطر سوراخ موزع استوانه ای و سرعت دورانی موزع یا سرعت پیش روی و هم چنین اثر متقابل آنها تاثیر معنی داری بر عملکرد موزع سیلندری دارند. تحلیل نتایج نشان داد که قطر سوراخ بذر در مقایسه با سرعت موزع و فشار خلا تاثیر بیشتری بر متوسط فاصله بذرها دارند. به طوریکه در قطر سوراخ ۲ میلی متر به دلیل سطح کم و نیروی کششی

کمتر، اختلاف قابل توجهی در متوسط فاصله بذرها نسبت به قطرهای ۳ و ۴ میلیمتر حاصل شد. در سرعت های بالاتر به دلیل نبود فرصت کافی، گیرایی بذرها کم شده و شاخص نکاشت بیشتر می گردد هم چنین در فشار خلاء کم عامل فشار باعث افزایش درصد شاخص نکاشت گردید. در فشارهای بالاتر هر چند متوسط فاصله بذرها و شاخص ازدست رفتگی کمتر گردید ولی عامل افزایش شاخص چندکاشت مانع از بکارگیری فشارهای بالاتر می گردد. با بررسی اثر متقابل هر سه پارامتر بر شاخص های عملکردی، نتایج نشان داد که بهترین حالت کاری دستگاه در سرعت پیش روی کم ۲ km/h، فشار متوسط ۲ mbar و ۵۰ قطر متوسط ۳ mm برای سوراخ بذرها، بدست می آید.

## REFERENCES

- Amiriyan, A., Rezaei, A.A., & Esmailzadeh, E. (2017). Fabrication and evaluation of pressurized metering drum performance (equipped with a mechanical separator) by grease belt. *Iranian Journal of Biosystem Engineering*, 48(3), 271-278. (In Farsi)
- Bakhtiari, M.R., & Loghavi, M. (2010). Development and evaluation of an innovative garlic clove precision planter. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 11(2), 125-136.
- Brooks, D., & Church, B. (1987). Drill performance assessment: a changed approach. *British Sugar Beet Review*, 55(4), 50-51.
- Hollewell, W (1992). Drill performance assessments. *British Sugar Beet Review*, 50(3), 13-15.
- Karayel, D., Barut, Z.B., & Özmerzi, A. (2004). Mathematical modelling of vacuum pressure on a precision seeder. *Biosystems Engineering*, 87(4), 437-444.
- Karayel, D., & Ozmerzi, A. (2001). Effect of forward speed and seed spacing uniformity on a precision vacuum metering unit for melon and cucumber seed. *Journal of Faculty of Agriculture*, 14(2), 63-67.
- Kachman, S. D., & Smith, J. A. (1995). Alternate measures of accuracy in plant spacing for planters using single seed metering. *Transactions of the ASAE*, 38(2), 379-387.
- Lan, Y., Kocher, M. F., & Smith, J. A. (1999). Opto-electronic sensor system for laboratory measurement of planter seed spacing with small seeds. *Journal of agricultural engineering research*, 72(2), 119-127.
- Moody, F. H., Hancock, J. H., & Wilkerson, J. B. (2003). Evaluating planter performance-cotton seed placement accuracy. ASAE Paper No. 03 1146; St Joseph; Michigan; USA.
- Panning J W; Kocher M F; Smith J A; Kachman S D (2000). Laboratory and field testing of seed spacing uniformity for sugarbeet planters. *Applied Engineering in Agriculture*, 16(1), 7-13.
- Sauder, G. A., Dill, K. R., Dunlap, D. L., Sauder, K. P., Sauder, D. A., & Zobrist, J. E. (2003). *U.S. Patent No. 6,516,733*. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.
- Shabiri, S.S. 1394. Technical guidance for planting, production and management of lentil seed. Agriculture and Natural Resources Research and Education Center of Zanjan. Retrieved September, 10, 2017, from [http://www.agrilib.ir/book\\_382.html](http://www.agrilib.ir/book_382.html). (In Farsi)
- Singh, R.C., Singh, G., & Saraswat, D.C, (2005). Optimisation of design and operational parameters of a pneumatic seed metering device for planting cottonseed. *Biosystems Engineering*, 92(4), 429-38.
- Yazgi, A., & Degirmencioglu, A. (2007). Optimisation of the seed spacing uniformity performance of a vacuum-type precision seeder using response surface methodology. *Biosystems engineering*, 97(3), 347-356.
- 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.