

بهینه‌سازی مهم‌ترین پارامترهای عملکردی ردیف‌کار نیوماتیک با پایش لحظه‌ای برای بذر هندوانه و خیار

زهرا عبدالله زارع^۱ - محمد امین آسودار^۲ - نواب کاظمی^{۳*} - مجید رهنما^۴ - سامان آبدانان مهدی زاده^۵

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۰۴/۲۹

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۰۸/۱۸

چکیده

گسترش کاربرد ردیف‌کارهای نیوماتیک برای بذوری با خصوصیات فیزیکی مختلف، ارزیابی این ماشین‌ها را جهت افزایش کیفیت عملکردشان تحت مکش‌ها و سرعت‌های مختلف ضروری ساخته است. بنابراین در این تحقیق اثرات سرعت پیشروی واقعی در دو سطح (محدوده‌ی ۳ تا ۴ و ۶ تا ۸ کیلومتر در ساعت) و مکش در سه سطح (۲/۵، ۳/۵ و ۴/۵- کیلوپاسکال) برای دو بذر هندوانه و خیار با هدف تعیین سرعت پیشروی و فشار بهینه بذرکار به کمک ابزار دقیق و تکنولوژی پردازش تصویر مورد مطالعه قرار گرفت. این تحقیق در دو شرایط آزمایشگاهی و مزرعه‌ای با دو نوع بذر هندوانه و خیار در سه تکرار به صورت آزمایش فاکتوریل بر پایه طرح کاملاً تصادفی اجرا شد. اثر سرعت پیشروی و مکش با استفاده از شاخص‌های نکاشت، چندانکه، خطا (ضریب تغییرات) و بالاترین شاخص کیفیت تغذیه ارزیابی گردید. نتایج نشان داد که دو عامل سرعت و مکش در ارتباط با هم و غیرمساوی روی یکنواختی فاصله‌ی کشت تأثیر داشتند. مدل‌های رگرسیونی استخراج شده نشان داد که بهترین یکنواختی فاصله‌ی کاشت برای بذر هندوانه در شرایط آزمایشگاهی در سرعت پایین و مکش ۳/۵- کیلوپاسکال و شاخص خطای ۷٪ به دست آمد و در شرایط مزرعه‌ای مناسب‌ترین یکنواختی در مکش ۲/۵- کیلوپاسکال و سرعت بالاتر با میزان شاخص خطا ۹٪ رخ داد. همچنین با شیوه‌ای مشابه نتایج برای بذر خیار نشان داد که در شرایط آزمایشگاهی با سرعت پایین، مکش ۴/۵- کیلوپاسکال و میزان شاخص خطا ۳٪ و در مزرعه با سرعت پایین، مکش ۲/۵- کیلوپاسکال و میزان شاخص خطا به اندازه ۲۰٪ مناسب‌ترین یکنواختی به دست آمد.

واژه‌های کلیدی: آزمون مزرعه‌ای، پردازش تصویر، ردیف‌کار نیوماتیک، مکش، یکنواختی کاشت

مقدمه

برای افزایش عملکرد و کاهش مصرف بذر در واحد سطح بوده‌است. اولین کارنده‌هایی که طراحی شدند دارای موزع مکانیکی با صفحات افقی بودند و سلول‌های بذر روی حاشیه این صفحات قرار داشت (Datta, 1974). اگرچه کارنده‌های مکانیکی بین کشاورزان استفاده گسترده‌ای دارد اما علاوه بر آسیب‌دیدگی بذر توسط موزع این کارنده‌ها، مشکلاتی مانند نکاشت و کاشت چندتایی بذر همچنان وجود دارد. از این رو برای کاهش تلفات بذر، ابتدا کارنده‌های با صفحات مایل و عمودی ساخته شد و در ادامه منجر به توسعه موزع‌های نیوماتیک گردید که دقت بیشتر و قابلیت تنظیم فاصله کاشت از طریق تعویض آسان صفحات، خصوصیت بارز این کارنده‌ها است (Shafii and Holmes, 1990; Guarella et al., 1996). دقیق‌کارهای ردیفی با موزع نیوماتیک برای طیف گسترده‌ای از محصولات از جمله: ذرت، لوبیا، خیار، هندوانه، خربزه، چغندر، پیاز و دیگر محصولات غیر کروی به کار می‌روند. اندازه سلول‌ها در صفحات این بذرکارها براساس عدم عبور کوچک‌ترین بذر مورد استفاده انتخاب

امروزه تقاضا برای مواد غذایی متناسب با رشد جمعیت و افزایش سطح رفاه و بهداشت در کشورهای مختلف رو به فزونی است. از طرفی مکانیزه کردن تولید نیازمند ارتقاء ماشین‌های کشاورزی و افزایش دقت کار آنها است. بدین جهت در سال‌های اخیر تکنولوژی مناسب و کاشت دقیق محور بسیاری از تحقیقات مهندسی کشاورزی

- ۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد مکانیزاسیون کشاورزی دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی رامین
 - ۲- استادیار گروه ماشین‌های کشاورزی و مکانیزاسیون دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی رامین
 - ۳- استادیار گروه ماشین‌های کشاورزی و مکانیزاسیون دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی رامین
- (*- نویسنده مسئول: (Email: navab20@yahoo.com)
- ۴ و ۵- استادیار گروه مکانیک (بیوسیستم) دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی رامین

کارنده‌ها است به طوری که برای دو بذرخار و خربزه، تغییرپذیری در فاصله‌ی بذر با یک نوع بذرخار مکشی با زیاد شدن سرعت پیشروی، افزایش می‌یابد و به‌طور پیوسته در سرعت پیشروی ۱ متر بر ثانیه نسبت به سرعت ۱/۵ متر بر ثانیه الگوی بذر بهتر و کاشت دقیق‌تری صورت می‌گیرد (Bozdogan, Karayel and Ozmerzi, 2001; Karayel et al., 2009). طی بررسی‌های انجام شده جهت تعیین اثر سرعت عملیاتی دیسک، فشار مکشی و شکل ورود حفره‌ی بذر و ارزیابی میانگین فاصله‌ی بذر، دقت فاصله (ضریب تغییرات) و سه شاخص کیفیت یکنواختی کاشت تحت شرایط آزمایشگاهی و موقعیت مزرعه‌ای توسط سینگ و همکاران (۲۰۰۵) گزارش شد که با افزایش فشار خلأ، میزان شاخص نکاشت کاهش یافته اما با افزایش سرعت افزایش یافت. در فشار خلأ کمتر و در سرعت‌های بالاتر، دیسک اندازه‌گیری زمان کافی برای برداشتن بذر را ندارد، در نتیجه شاخص نکاشت بالاتر است. از طرف دیگر شاخص چندتایی در سرعت‌های بالاتر کمتر می‌باشد اما در فشار بالاتر افزایش می‌یابد. بنابراین عملکرد ردیف کارهای نیوماتیک علاوه بر اندازه موزع و خصوصیات بذور، تحت تأثیر پارامترهای سرعت خطی واقعی تراکتور و میزان مکش هستند، به طوری که یک مدل جهت پیش‌بینی میزان مکش مورد نیاز برای ده بذر با بذرخار نیوماتیک توسعه داده شد که بهترین میزان یکنواختی برای دو رقم از بذر ذرت در مکش ۴- کیلوپاسکال، پنبه، سویا و هندوانه در مکش ۳- کیلوپاسکال، خربزه و خیار ۲/۵- کیلوپاسکال، برای چغندر قند ۲- کیلوپاسکال و برای بذر پیاز ۱/۵- کیلوپاسکال به دست آمد (Karayel et al., 2004). با توجه به این که زارعین بر اساس شرایط خاک و تنوع بذور با سرعت‌های مختلفی اقدام به بذرخاری می‌کنند و اصولاً دفترچه راهنمای کارنده مربوط به چگونگی تنظیم‌های فنی دستگاه و انتخاب صفحه برای میزان توزیع بذر در هکتار است، تعیین مناسب‌ترین فشار و سرعت پیشروی برای داشتن بهترین بذرخاری اهمیت زیادی دارد. از طرفی تغییرات سرعت پیشروی تحت تأثیر دور موتور و انتخاب دنده است و این دو بر میزان سرعت چرخش فن دستگاه برای اعمال فشارهای مختلف نیز اثر می‌گذارد. لذا هدف از این تحقیق شناخت و تعیین چگونگی اثرات سرعت پیشروی و میزان مکش لازم بر عملکرد ردیف کار نیوماتیک است. به همین دلیل با به کارگیری ابزار دقیق و تجهیز یک دستگاه ردیف کار نیوماتیک به حسگرها و دوربین سرعت بالا در دو شرایط مزرعه‌ای و آزمایشگاهی برای دو نوع بذر هندوانه و خیار مورد ارزیابی قرار گرفت. برای داده‌برداری پیوسته از تراکتور^۲ RTPM مجهز به سامانه جمع‌آوری اطلاعات استفاده شد تا ضمن نظارت بر عملکرد ردیف کار از طریق صفحه نمایش لپ‌تاپ، کلیه اندازه‌گیری‌ها با سرعتی تا ۱۰۰۰ نمونه بر ثانیه در محیط اکسل ذخیره‌سازی شود

می‌شود. اما در موزع‌های مکانیکی اندازه‌ی بذر بایستی متناسب با اندازه‌ی سلول باشد و یک صفحه تنها برای بذوری با اندازه یکسان کاربرد دارد. از طرفی، بذرخار نیوماتیک نسبت به بذرخارهای مکانیکی در فواصل درون ردیفی، یکنواختی بهتری فراهم می‌کند (Gil and Karnasa, 1996; Karayel et al., 2004).

یکی از معیارهای مهم در ارزیابی عملکرد کارنده‌ها، یکنواختی فاصله بین بذور است. یکنواختی توزیع بذر، عملکرد را به دلیل کاهش رقابت خاص داخلی، افزایش می‌دهد (Heege, 1993). با وجود همه‌ی دقتی که برای این دقیق کارها پیش‌بینی شده است، یکنواختی کاشت ممکن است تحت تأثیر شرایط خصوصیات بذر، مکانیزم انتخاب بذر و سایر پارامترهای عملیاتی دستگاه قرار گیرد تا جایی که مکانیزم انتخاب بذر ممکن است قادر به انتخاب بذر و انتقال آن نباشد یا اینکه چند بذر را انتخاب و رها سازد (Karayel et al., 2004). برای ارزیابی عملکرد دقیق کارها، روش‌های آزمایشگاهی و مزرعه‌ای متعددی توسعه یافته و ارزیابی سیستم تغذیه از اهمیت زیادی برخوردار است. ارزیابی مزرعه‌ای این نوع بذرخارها به دو طریق صورت می‌گیرد: ۱) کنار زدن خاک روی بذر با دست پس از کاشت به وسیله ماشین‌های تک‌دانه‌کار و ۲) بررسی فاصله‌ی کاشت پس از مرحله‌ی سبز شدن. در روش اول معمولاً اندازه‌گیری موقعیت بذر در خاک بدون جابه‌جا شدن آن، کاری مشکل و زمان‌بر بوده ضمن این که دقت لازم را نیز ندارد (Lan et al., 1999).

روش‌های آزمایشگاهی مستلزم استفاده از ابزار دقیق است. به کمک این ابزار سیستم‌هایی طراحی شده که رفتار لحظه‌ای بذور را پایش و در نتیجه مکان دقیق سقوط بذر در بستر بذر را نیز تعیین می‌نماید. برخی از سیستم‌های هشداردهنده غیر تماسی که امروزه استفاده می‌شود شامل اشعه ایکس، ماشین بینایی^۱ و سیستم حس‌کننده نوری-الکترونیکی می‌باشد. در روش اشعه ایکس تفسیر عکس رادیوگرافی حاصل، تصحیحات تصاویر و مطابقت دادن آنها با واقعیت بسیار مشکل می‌باشد از این‌رو کمتر از این روش استفاده می‌شود (Bracy et al., 1999; Allan et al., 1989; Kocher et al., 1998; Lan et al., 1999; Alchanatis et al., 2002; Raheman and Singh, 2003). مشکل حسگرهای نوری این است اگر چندین بذر به‌طور هم‌زمان از میان مسیر نور عبور کنند، در شناسایی آنها اختلال ایجاد می‌شود. اما استفاده از دوربین‌های سرعت بالا می‌تواند این مشکل را برطرف نماید. در تحقیقی برای ارزیابی و توصیف یکنواختی فاصله بذر در یک نوع خطی کار با به کارگیری دوربینی با سرعت ۴۸۰ فریم بر ثانیه، مشخص شد که یکنواختی کاشت به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر سرعت دورانی صفحه بذر است (Karayel et al., 2006). سرعت صفحه متأثر از سرعت پیشروی

$$WDRPM_t = \frac{P_t - P_{t-T}}{T \times n_p} \times 60000 \quad (3)$$

$$DISKRPM_t = WDRPM_t \times 6/13 \quad (4)$$

$$V_{ta} = \frac{RPM_t \times C}{60} \quad (5)$$

$$V_d = v_{ta} \times \frac{N_2}{N_1} \times \frac{R_d}{R_w} \quad (6)$$

در روابط فوق C محیط چرخ محرک (m)، R_w شعاع چرخ (m)، s_p مسافت تئوری طی شده در هر پالس ($mm \text{ pulse}^{-1}$)، n_p پالس ارسالی در هر دور، T فاصله زمانی ثبت هر داده (ms)، $WDRPM_t$ دور بر دقیقه چرخ محرک در لحظه t ، $DISKRPM_t$ دور بر دقیقه صفحه موزع، V_{ta} سرعت واقعی پیشروی در لحظه t ($m \text{ s}^{-1}$)، P_{t-T} تعداد پالس‌های تجمعی در لحظه $t-T$ و P_t تعداد پالس‌های تجمعی در لحظه t می‌باشد. V_d سرعت خطی صفحه بذر موزع، N_1 تعداد دندانه‌های چرخ دنده محرک، N_2 تعداد دندانه‌های چرخ دنده متحرک، RPM_t دور بر دقیقه چرخ پنجم متصل به تراکتور و R_d شعاع دیسک می‌باشد.

برای اندازه‌گیری دقیق مکش دستگاه که یکی از فاکتورهای مهم در این تحقیق است، فشارسنج آنالوگ موجود برداشته شد و به جای آن یک دستگاه ترنسدمتر مکش^۵ مدل BT 10-210 با دقت منفی هزار میلی بار قرار داده شد و هم‌چون شفت دورسنج به سامانه DAS تراکتور متصل گردید. هم‌چنین برای نظارت و ثبت کامل رفتار بذور از تکنیک فیلم‌برداری با دوربینی با سرعت ۳۲۰ فرم بر ثانیه (با دقت ۳۲۰*۲۴۰ پیکسل) به‌جای حسگر استفاده شد. ابتدا یک قاب فلزی آماده گردید و توسط دو بازوی تسمه‌ای شکل به موازات شاسی ردیف‌کار جهت قرار گرفتن دوربین به انتهای شیار بازکن به گونه‌ای بسته شد که فضای کامل درون شیار بازکن از لحظه رهایی بذور از صفحه موزع تا برخورد روی زمین را پوشش دهد و با نصب چند لامپ ال ای دی شرایط روشنائی برای کیفیت بهتر فیلم‌برداری به‌ویژه در مزرعه نیز تأمین گردید (شکل ۱).

دوربین به‌کار رفته در این مطالعه قادر بود هر میزان دلخواهی از ریزش بذر را در امتداد سقوط بذر ثبت نماید. به‌طور کلی پس از ثبت داده‌ها به کمک سیستم دوربین سرعت بالا کلیه رفتار بذور از لحظه قطع مکش و رهایی از صفحه موزع و طی مسافت عمودی حدوداً ۲۰ سانتی‌متری و برخورد بر روی بستر خاکی ثبت می‌شد. تحلیل این رفتار با تفکیک نمودن بذرها از زمینه‌ی قرار گرفته روی آن، تعیین موقعیت بذرها در سیستم متناسب با موقعیت واقعی آن‌ها در تصویر، تعیین مساحت، ابعاد بذرها، محاسبه‌ی فواصل بین بذور و تعیین سرعت سقوط بذر با استفاده از پردازش تصویر امکان‌پذیر بود. به‌طور نمونه شکل (۲-ا) ثبت دوبعدی چگونگی خروج بذر خیار از صفحه تا رسیدن بر روی بستر را نشان می‌دهد.

(Kazemi et al., 2014).

مواد و روش‌ها

این تحقیق در سال ۱۳۹۲ در دو محیط آزمایشگاهی و مزرعه‌ای واقع در کارگاه ماشین‌های کشاورزی و مزارع تحقیقاتی دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی رامین خوزستان با استفاده از یک ردیف‌کار نیوماتیک با موزع صفحه‌ای دارای سلول‌هایی با قطر ۲۵ میلی‌متر انجام شد.

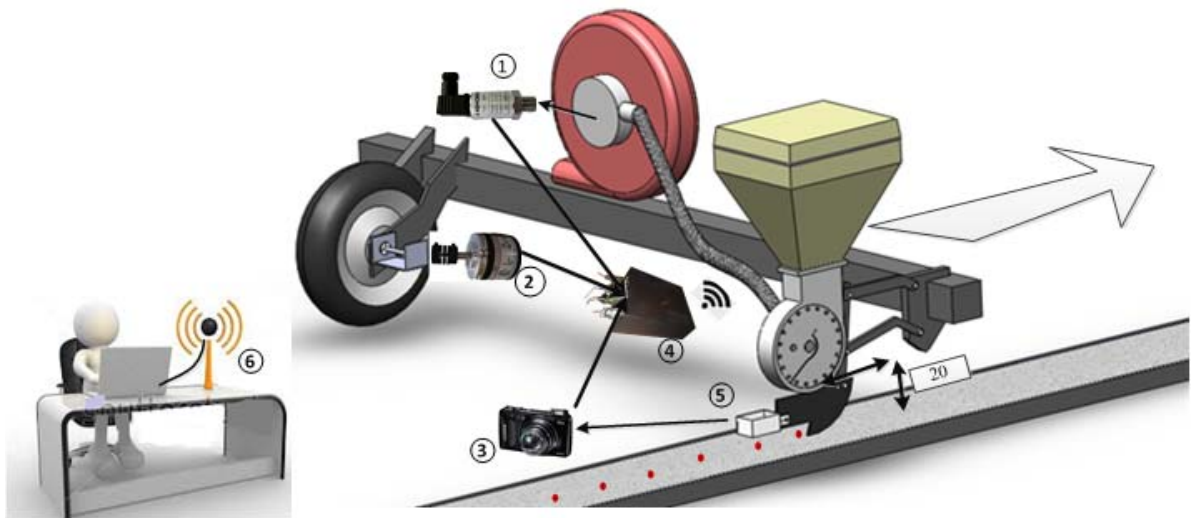
آماده‌سازی و تجهیز بذرکار به ابزار دقیق

قبل از اجرای آزمون، ردیف‌کار و هم‌چنین محیط آزمایش برای اجرا و داده‌برداری آماده گردید. کلیه آزمایش‌های مربوط به ارزیابی ردیف‌کار روی دو نوع بذر هندوانه و خیار با خصوصیاتی مطابق ارقام جدول ۱ انجام گرفت. از آن‌جایی که نسبت مجاز قطر هر سلول صفحه موزع به متوسط عرض بذر مورد استفاده بین ۰/۱۸ تا ۰/۸۷ می‌باشد (Affify et al., 2009)، با طراحی چند نوع صفحه اولیه و انجام یک سری پیش‌آزمایش به صورت درجا، صفحه با اندازه مناسب قطر هر سلول ۲/۵ میلی‌متر انتخاب شد و با توجه به اندازه بذر، نسبت مذکور در محدوده ۰/۳۳ برای هندوانه و ۰/۶ برای خیار به‌دست آمد. برای اجرای کلیه آزمایش‌های مزرعه‌ای و آزمایشگاهی از ردیف‌کار نیوماتیکی مدل یونیسسم^۱ استفاده گردید هم‌چنین جهت راه‌اندازی آن از یک تراکتور MF399 مجهز به انواع حسگرهای اندازه‌گیری لحظه‌ای پارامترهای عملکردی تراکتور-ادوات همانند دور موتور، درصد لغزش کلیه چرخ‌ها، سرعت پیشروی واقعی، نیروی کششی و مصرف سوخت استفاده شد. هم‌چنین داده‌های مربوط به کلیه این پارامترها از طریق یک سامانه جمع‌آوری داده (DAS^۲) دریافت و به‌صورت بی‌سیم^۳ بر روی صفحه رایانه^۴ کاربر قابل نمایش و ذخیره‌سازی بود. در همین راستا یک دستگاه شفت انکودر مدل S48-8-0360ZT(TK1) روی محور چرخ محرک صفحات موزع نصب و به DAS متصل گردید سپس با برنامه‌نویسی به زبان C SHORP روابط (۱) تا (۶) به نرم‌افزار سامانه DAS اضافه شده تا در کنار پارامترهای عملکردی تراکتور، سرعت و مسافت پیشروی واقعی، سرعت دورانی هر صفحه موزع و تعداد دوران آن هم‌زمان با اجرای عملیات ثبت و ذخیره‌سازی گردد.

$$C = 2\pi R_w \quad (1)$$

$$S_p = \frac{C}{n_p} \quad (2)$$

- 1- Unissem
- 2- Data Acquisition System
- 3- Wireless
- 4- Computer monitor

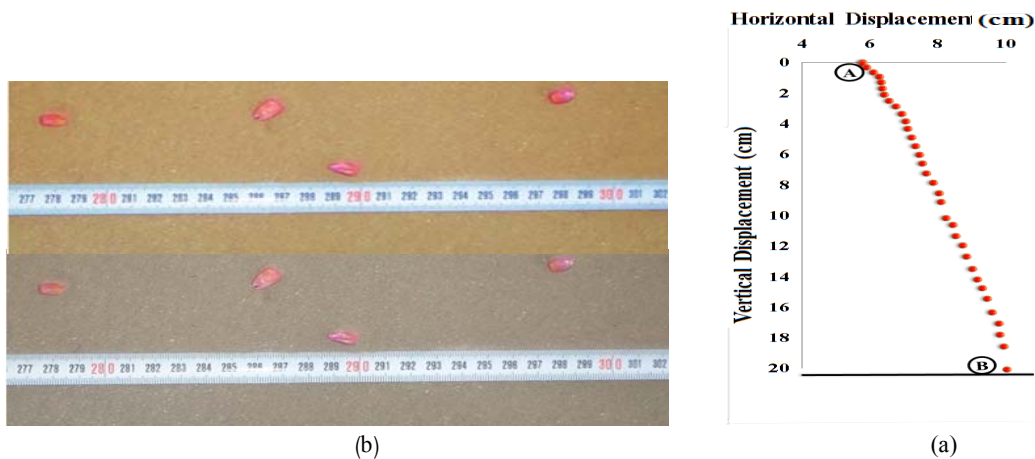


شکل ۱- شماتیک تجهیز بذرکار به ابزار دقیق: (۱) ترانسیمتر، (۲) دورسنج نوری، (۳) دوربین سرعت بالا، (۴) واحد پردازش مرکزی، (۵) محل قرارگیری دوربین، (۶) سیستم نظارت

Fig.1. Schematic of planter equipped with the instrumentation: (1) Transmitter, (2) Rotary encoder, (3) High speed camera, (4) Processing unit, (5) Location of camera, (6) Monitoring system

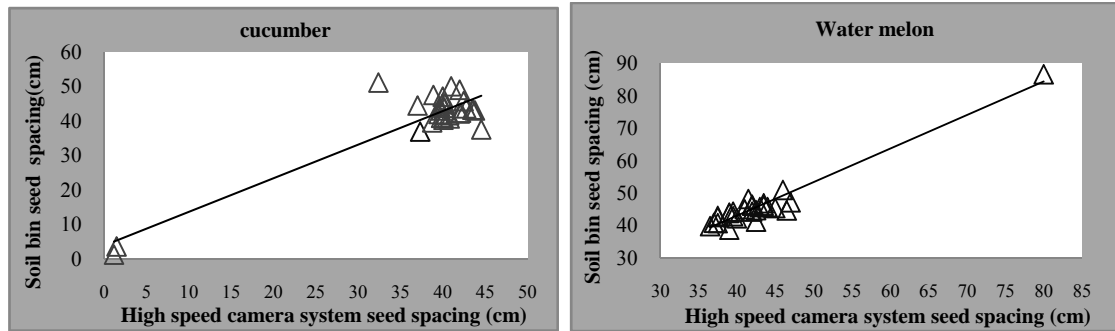
تیین بالای ۹۰ درصد نشان‌دهنده این است که استفاده از دوربین فیلمبرداری برای سنجش میزان فواصل بین بذور رها شده روی زمین در مزرعه همچون اندازه‌گیری‌های به عمل آمده در محیط آزمایشگاه قابل اطمینان و اعتماد است.

اندازه‌گیری فواصل بذور در آزمایش‌های مزرعه‌ای فقط از طریق تصاویر ضبط شده با دوربین فیلم‌برداری امکان‌پذیر بود. از این رو می‌بایست از دقت عمل آن اطمینان حاصل می‌شد به همین منظور جهت اثبات درستی فواصل به‌دست آمده از طریق دوربین فیلم‌برداری با فواصل در بستر خاکی (شکل ۲-ب) در تمامی تیمارها همبستگی گرفته شد که نتایج یکسانی مشابه شکل ۳ استخراج گردید. ضریب



شکل ۲- (a) ثبت رفتار خروج یک بذر از لحظه قطع مکش تا رسیدن بر روی بستر خاکی با استفاده از پردازش تصویر، (b) تصویر بذور رها شده روی بستر خاکی

Fig.2. (a) Seeds behavior from the vacuum cutoff point to reach the soil bin by image processing, (b) Image of seeds left on the soil bin



شکل ۳- همبستگی فواصل بذر اندازه‌گیری شده با سیستم دوربین سرعت بالا و فواصل اندازه‌گیری شده روی بستر خاکی
Fig.3. Correlation of seed spacing measured with the high-speed camera system and spacing measured on the soil bin

شده به‌وسیله‌ی کچمن و اسمیت (۱۹۹۵) اندازه‌گیری شدند، که به‌ترتیب به صورت روابط (۷) تا (۱۰) ارائه شده‌اند:

$$I_{miss} = \frac{N_1}{N} \times 100 \quad (7)$$

$$I_{mul} = \frac{N_2}{N} \times 100 \quad (8)$$

$$I_{qf} = 100 - (I_{mul} + I_{miss}) \quad (9)$$

$$P = \frac{s_d}{x_{ref}} \quad (10)$$

که در آن‌ها در طول ۴۵ سانتی‌متر کشت شده، N_1 عبارت است از تعداد فواصل بین بذور بیشتر از ۱/۵ برابر فاصله‌ی تئوری، N_2 تعداد فواصل کمتر یا مساوی ۰/۵ برابر فاصله‌ی تئوری، N تعداد کل فواصل، S_d انحراف استاندارد فواصل قرار گرفته بین ۰/۵ و ۱/۵ برابر فاصله‌ی تئوری، X_{ref} فاصله‌ی تئوری، I_{miss} شاخص نکاشت، I_{mul} شاخص چندگانه، I_{qf} شاخص کیفیت تغذیه که برابر درصد فواصل بین ۰/۵ و ۱/۵ برابر فاصله‌ی تئوری است و P شاخص خطا است که برای این نوع بررسی تعریفی از ضریب تغییرات بوده بنابراین هر چه کمتر باشد مطلوب‌تر می‌باشد.

در این تحقیق علاوه بر تجزیه واریانس، از روش آماری برش‌دهی^۲ برای تعیین اثرات متقابل استفاده شد، همچنین به جهت ثبت داده‌های اندازه‌گیری شده به‌طور پیوسته برای شناخت اثرات یا روابطی که پارامترهای مهم عملکردی روی همدیگر دارند از تجزیه رگرسیونی نیز استفاده گردید. کلیه محاسبات آماری موردنیاز با استفاده از نرم‌افزارهای SAS 9.1، Excel و SPSS صورت گرفت. همچنین پردازش تصویر با استفاده از نرم‌افزار MATLAB و برای رسم شکل‌ها و نمودارها از نرم‌افزارهای Solid Works، Sigma Plot، Excel و Microsoft Visio استفاده شد.

آماده‌سازی بستر آزمایش‌ها

جهت اجرای مزرعه‌ای پژوهش ابتدا زمینی به مساحت ۲۵۰۰ متر مربع شخم زده شد و سپس با دوبار دیسک زدن بستر مناسب کاشت محصولات جالیزی آماده گردید. برای اجرای بخش آزمایشگاهی یک قاب فلزی مکعب مستطیل شکل به ابعاد ۸×۴۰×۱۲۰۰ سانتی‌متر ساخته شد و بر روی سطح بتنی کارگاه قرار گرفت و با خاک رسی نرم الک شده مطابق شکل ۱ پر گردید. تنظیمات مربوط به ارتفاع شاسی ردیف‌کار و چرخ‌های عقب تراکتور به گونه‌ای بود که تراکتور روی خط مستقیم با سرعت ثابت در کنار این قاب حرکت می‌کرد و شیار بازکن ردیف‌کار به موازات سطح بستر خاکی عبور می‌نمود. طول کل بذرکاری چند متر بیش‌تر از طول هر کرت بود اما با توجه به اینکه شروع و پایان کلیه داده‌برداری‌ها و اندازه‌گیری‌ها به‌طور لحظه‌ای از صفحه نمایش رایانه^۱ و در محیط اکسل قابل مشاهده، کنترل و ذخیره‌سازی بود، لذا داده‌های خالص مربوط به هر کرت و یا هر تکرار پس از پایان آزمایش تفکیک می‌گردید. همچنین جهت تعیین فاصله‌ی بین بذور قرار گرفته روی بستر خاکی، پس از اجرای هر تیمار از کل سطح بستر خاکی عکس‌هایی از ارتفاع و فاصله‌ی مشخص گرفته شد و از تکنولوژی پردازش تصویر استفاده شد.

پارامترهای عملکردی مورد بررسی برای کارنده

بررسی مهم‌ترین فاکتورهای مؤثر بر عملکرد کارنده نیوماتیک، به‌صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی و در سه تکرار انجام گردید. فاکتورهای مورد بررسی شامل فشار (سه سطح ۲/۵، ۳/۵ و ۴/۵ - کیلوپاسکال)، سرعت پیشروی (دو سطح ۳ تا ۴ کیلومتر بر ساعت و ۶ تا ۸ کیلومتر بر ساعت) و نوع بذر (خیار و هندوانه) بود. تنظیمات جعبه دنده بذرکار به گونه‌ای انجام شد تا بذور هندوانه و خیار در فاصله‌ی ۴۵ سانتی‌متر روی ردیف، کاشته شوند. یکنواختی فواصل بذور با استفاده از روش‌ها و شاخص‌های توصیف

جدول ۱- میانگین و خطای استاندارد خصوصیات فیزیکی بذر
Table 1- Means and standard errors of the seed physical properties

بذر Seed	طول Length (mm)	ضخامت Thickness (mm)	عرض Width (mm)	وزن هزاردانه 1000 seed mass (g)	سطح بذر Projected area (mm ²)	کروییت Sphericity (%)	چگالی بذر Kernel density, (kg m ⁻³)	میانگین قطر هندسی Geometric mean diameter
هندوانه Watermelon	11.246±0.09	4.755±0.08	7.659±0.08	43.48±0.37	62.70±0.77	57.33±0.36	1275±13	4.86±0.03
خیار Cucumber	10.25±0.07	1.68± 0.02	4±0.03	33.5±0.44	47.70±0.52	39.96±0.25	1101±12	4.09±0.02

نتایج و بحث

اثر سرعت پیشروی و مکش بر عملکرد سیستم موزع نیوماتیکی تحت شرایط آزمایشگاهی

طبق نتایج تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۲)، اثرات سه‌گانه (مکش، سرعت پیشروی و نوع بذر) بر یکنواختی کاشت معنی‌دار شد. از این رو جهت بررسی بیش‌تر اثرات متقابل (دوگانه و سه‌گانه) برش‌دهی انجام گردید. با استفاده از روش برش‌دهی عوامل سه‌گانه (شکل ۴) معلوم گردید که به‌طور کلی برای بذر هندوانه، شاخص کیفیت تغذیه (شکل ۴-الف) بیش‌تر بود با توجه به اینکه شرایط بررسی برای هر دو بذر یکسان بوده تنها دلیل اختلاف نتایج را می‌توان به خصوصیات هر بذر نسبت داد از جمله شکل و چگالی که بر رفتار بذر هنگام سقوط از صفحه تقسیم بیش‌ترین اثر را می‌گذارد. اما برای هر بذر در دامنه سرعت پیشروی ۶ تا ۸ کیلومتر بر ساعت، این شاخص تقریباً کمتر از سرعت ۳ تا ۴ کیلومتر بر ساعت است. همچنین در دامنه سرعت پیشروی ۳ تا ۴ کیلومتر بر ساعت شاخص خطا از میزان کم‌تری برخوردار بوده که مطلوب و مورد نظر می‌باشد. در دامنه سرعت ۳ تا ۴ کیلومتر بر ساعت بیش‌ترین میزان یکنواختی کاشت در مکش ۲/۵- کیلوپاسکال برای بذر هندوانه به‌دست آمد که البته بین ۴ سطح ترکیبی دیگر برای هندوانه اختلاف معنی‌داری وجود نداشت. با توجه شکل (۴-ب) کم‌ترین درصد نکاشت برای بذر هندوانه در مکش ۲/۵- کیلوپاسکال و سرعت ۳ تا ۴ کیلومتر بر ساعت و نیز سرعت ۶ تا ۸ کیلومتر بر ساعت و مکش ۴/۵- کیلوپاسکال برابر با صفر تعیین گردید. برای این دو تیمار شاخص کیفیت تغذیه بیش‌ترین درصد خود و به‌ترتیب برابر با ۹۷٪ و ۹۶٪ را دارا بود. برای بذر خیار نیز در فشار ۴/۵- کیلوپاسکال و سرعت ۳ تا ۴ کیلومتر بر ساعت حداقل درصد نکاشت برابر با صفر بود و این در صورتی است که برای این تیمار درصد کیفیت تغذیه که برابر با ۸۷٪ است، اختلاف معنی‌داری با دو تیمار نام برده (مکش ۲/۵-، سرعت ۳ تا ۴ و مکش ۴/۵- و سرعت ۶ تا ۸) برای بذر هندوانه ندارد. شاخص چندانگانه

(شکل ۴-ج) در هر دو سرعت پیشروی و هر سه سطح فشار برای بذر خیار بیش‌تر از بذر هندوانه بود. البته بیش‌ترین درصد این شاخص برای بذر هندوانه در سرعت ۳ تا ۴ کیلومتر بر ساعت و مکش ۴/۵- کیلوپاسکال با میانگین ۶٪ به‌دست آمد که اختلاف معنی‌داری با تیمار سرعت ۳ تا ۴ کیلومتر بر ساعت و مکش ۲/۵- کیلوپاسکال که تقریباً کم‌ترین درصد شاخص چندانگانه را به خود اختصاص داد، نداشت. در سرعت‌های پایین‌تر صفحه تقسیم بذر آهسته‌تر حرکت کرده در نتیجه ممکن است بیش از یک بذر به بعضی از سلول‌های صفحه تقسیم بذر موزع متصل شده و در نتیجه میزان کاشت چندانگانه افزایش یابد.

از بررسی‌های انجام شده نتیجه می‌شود (شکل ۴ و ۵) که شاخص نکاشت در سرعت‌های بالاتر و مکش کمتر، افزایش می‌یابد، زیرا با میزان مکش کمتر و سرعت پیشروی بیش‌تر (که منتج به افزایش دور صفحه بذر می‌شود)، صفحه‌ی بذر فرصت کافی برای برداشتن بذر را ندارد. در نتیجه درصد نکاشت افزایش می‌یابد. از طرف دیگر شاخص چندانگانه در فشارهای بیش‌تر و سرعت‌های کم‌تر افزایش می‌یابد (Singh *et al.*, 2005; Panning *et al.*, 2000; Zulin *et al.*, 1991).

تعیین اثر سرعت پیشروی و مکش بر شاخص خطا شاخص‌های عملکردی در شرایط آزمایشگاهی

نقش هریک از فاکتورهای مورد بررسی از جمله سرعت پیشروی و مکش روی یکنواختی فاصله‌ی کاشت هر بذر (بذر هندوانه و خیار دارای خصوصیات فیزیکی متفاوتی هستند) با استفاده از رگرسیون خطی چندانگانه تعیین شد. این شاخص‌ها برای بذر هندوانه به‌صورت روابط (۱۱) تا (۱۴) و برای بذر خیار به‌صورت روابط (۱۵) تا (۱۸) تعیین گردید.

بذر خیار: با توجه به رابطه (۱۳)، بیش‌ترین مقدار شاخص کیفیت تغذیه با ۸۷/۰۲٪ در سرعت پیشروی ۳ تا ۴ کیلومتر بر ساعت و فشار ۳/۵- تعیین گردید. در این سرعت و فشار شاخص نکاشت مقداری کم‌تر از ۱٪ و شاخص چندانگانه مقدار ۱۲/۹٪ را به خود اختصاص داده‌اند (روابط ۱۱ و ۱۲).

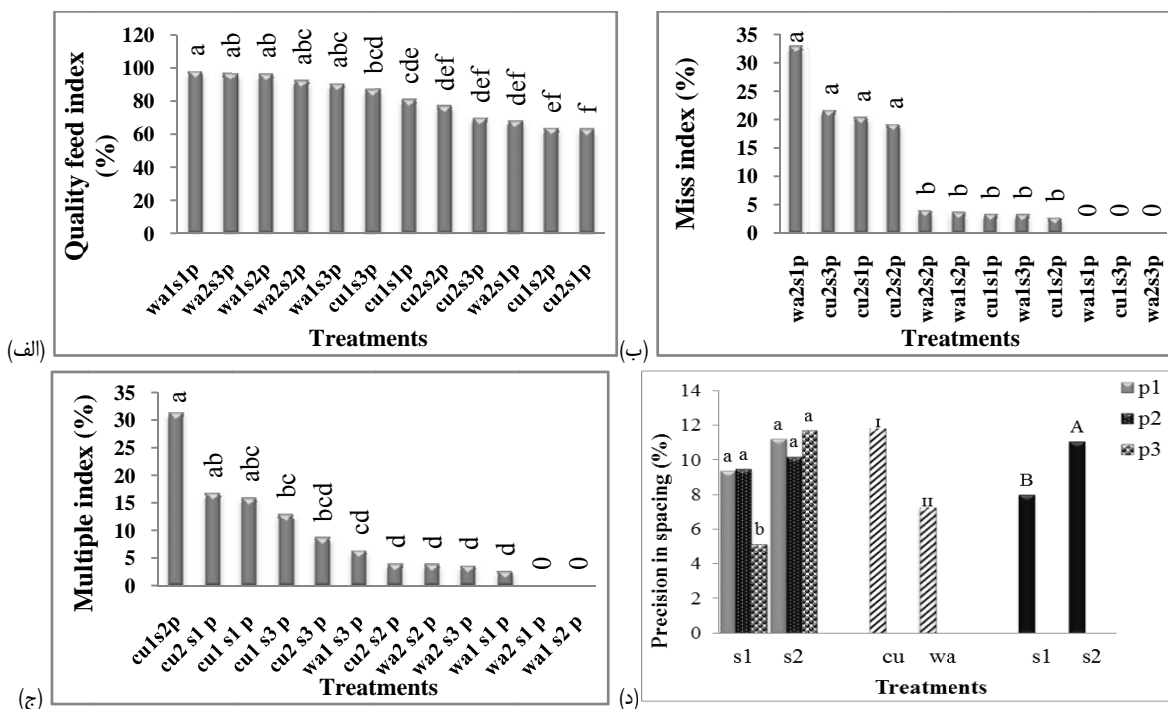
جدول ۲- آنالیز واریانس پارامترهای عملکردی روی شاخص‌های عملکردی مختلف در شرایط آزمایشگاهی

Table 2- ANOVA results for effect of vacuum pressure, forward speed and seed type on the different performance indices in laboratory condition

منابع تغییر Source of variation	درجه آزادی d.f.	میانگین مربعات MS			
		شاخص چندگانه Multiple index	شاخص نکاشت Miss index	شاخص کیفیت کاشت Quality of feed index	شاخص خطا Error index
P مکش	2	0.003 ^{ns}	0.058*	0.039 ^{ns}	0.001 ^{ns}
Sp سرعت پیشروی	1	0.065*	0.603**	0.122*	0.008**
ST نوع بذر	1	0.631**	0.098*	0.723**	0.019**
P*Sp	2	0.006 ^{ns}	0.079**	0.109*	0.003*
P*ST	2	0.030 ^{ns}	0.021 ^{ns}	0.026 ^{ns}	0.001 ^{ns}
Sp*ST	1	0.053 ^{ns}	0.113*	0.006 ^{ns}	0.000 ^{ns}
P*Sp*ST	2	0.112**	0.158**	0.077*	0.000 ^{ns}
CV %		48.763	55.604	11.919	26.331

** نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار در سطح ۱ درصد، * نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار در سطح ۵٪ و ns نشانه عدم معنی‌داری است.

P: Vacuum pressure, Sp: Forward speed, ST: Seed type, *Significant at 5% level; **Significant at 1% level; ns: Not significant



شکل ۴- مقایسه میانگین اثرات ساده و متقابل پارامترهای عملکردی بر شاخص‌های عملکردی مختلف در شرایط آزمایشگاهی. S1: سرعت ۳ تا ۴ km h⁻¹; S2: سرعت ۶ تا ۸ km h⁻¹; P1: مکش -۲/۵ kpa; P2: مکش -۳/۵ kpa; P3: مکش -۴/۵ kpa

Fig.4. Comparison of simple and interaction effects mean of performance parameter on different performance indices in laboratory condition. S1: Speed of 3 to 4 km h⁻¹, S2: Speed of 6 to 8 km h⁻¹, P1: Pressure of -2.5 kpa, P2: Pressure of -3.5 kpa, P3: Pressure of -4.5 kpa

و ۳/۹٪ کم‌ترین مقادیر را در محدوده سرعت ۶ تا ۸ کیلومتر بر ساعت به خود اختصاص دادند. با توجه به رابطه (۶) می‌توان مقدار خطا را برای تمامی تیمارها پیش‌بینی نمود. این شاخص بیانگر خوبی از میزان پراکندگی فواصل بذور قرار گرفته در محدوده شاخص کیفیت تغذیه است پس با افزایش این شاخص بذور قرار گرفته در محدوده

هر دو شاخص نکاشت و چندگانه در این تیمار کم‌ترین مقدار را نسبت به دو فشار دیگر در سرعت ۳ تا ۴ کیلومتر بر ساعت داشتند. در سرعت ۶ تا ۸ کیلومتر بر ساعت، بیش‌ترین مقدار شاخص کیفیت تغذیه برابر با ۷۶/۹۵٪ در فشار ۳/۵- به‌دست آمد. جالب توجه است که در این تیمار شاخص نکاشت و چندگانه به‌ترتیب برابر با ۱۹/۱۶٪

افزایشی از ۷/۲٪ تا ۱۰/۶٪ برای شاخص خطا مشاهده گردید. این روند تغییرات را می‌توان بدین صورت توجیه کرد که با افزایش مکش، شاخص چندگانه با شیب نسبتاً ملایمی (به ترتیب ۰، ۳/۶٪ و ۳/۷٪) افزایش یافته است و برای شاخص کیفیت تغذیه نیز با افزایش مکش روند افزایشی از ۶۷/۸۱٪ تا ۹۶/۴۵٪ به دست آمد. این در صورتی است که تغییرات شاخص نکاشت دارای شیب نسبتاً شدیدی (۳۲/۹۸٪، ۳/۸٪ و صفر) بوده است. در نتیجه شاخص نکاشت تأثیر بیشتری بر کیفیت کاشت داشته است. (Shaaban et al. (2009) در بررسی یکنواختی فاصله کاشت بذر پیاز نیز به نتایج مشابهی دست یافتند. مسلماً افزایش شاخص خطا را می‌توان به تمایل پراکندگی فواصل بذور قرار گرفته در محدوده شاخص کیفیت تغذیه به سمت فواصل کمتر نسبت داد.

در محدوده سرعت ۳ تا ۴ کیلومتر بر ساعت با افزایش فشار از ۲/۵- تا ۴/۵- کیلوپاسکال روندی کاهشی از ۷/۴٪ تا ۳/۹٪ برای شاخص خطا مشاهده گردید. البته شاخص کیفیت تغذیه هم از ۹۷/۵٪ تا ۹۰/۳۱٪ کاهش یافته است. پس می‌توان نتیجه گرفت که تمرکز فواصل قرار گرفته در محدوده شاخص کیفیت تغذیه با افزایش مکش به سمت فاصله‌ی تئوری (۴۵ سانتی‌متر) افزایش یافته است.

$$I_{miss} = -0.12527 + 0.69382P - 1.49515V - 0.08599P^2 + 0.61885V^2 - 0.07673PV \quad R^2 = 0.73 \quad (15)$$

$$I_{mul} = -0.06542 - 0.68176P + 1.79144V + 0.11074P^2 - 0.51450V^2 - 0.07172PV \quad R^2 = 0.5 \quad (16)$$

$$I_{qf} = 1.19069 - 0.01206P - 0.29629V - 0.02475P^2 - 0.10435V^2 + 0.14846PV \quad R^2 = 0.68 \quad (17)$$

$$I_p = 0.26799 + 0.09611P - 0.54794V - 0.02393P^2 + 0.12968V^2 + 0.05386PV \quad R^2 = 0.67 \quad (18)$$

هر دو معادله (۱۷) و (۱۸) بیان دارند که سرعت تأثیر بیشتری نسبت به مکش روی شاخص خطا داشته است.

اثر سرعت پیشروی و مکش بر عملکرد سیستم موز

نیوماتیکی تحت شرایط مزرعه‌ای

با توجه به شکل (۵-الف) کمترین درصد نکاشت (صفر) در فشار ۳/۵- کیلوپاسکال و سرعت ۳ تا ۴ کیلومتر بر ساعت و برای بذر هندوانه تعیین شد. البته کمترین درصد این شاخص برای بذر خیار در همین سرعت و فشار برابر با ۲٪ به دست آمد و بیشترین درصد نکاشت با مقدار ۱۵/۸۵٪ در فشار ۳/۵- کیلوپاسکال و سرعت ۶ تا ۸ کیلومتر بر ساعت برای بذر هندوانه تعیین شد. از طرفی شاخص چندگانه (شکل ۵-ب) در این سرعت و فشار برابر با صفر بود که کمترین مقدار خود برای این بذر داشت. اما کمترین درصد چندگانه برای بذر خیار ۱۶/۶۹٪ در سرعت ۶ تا ۸ کیلومتر بر ساعت و فشار ۲/۵- کیلوپاسکال به دست آمد.

شاخص کیفیت تغذیه از انحراف بیش‌تری نسبت به فاصله‌ی تئوری (۴۵ سانتی‌متر) دارند. در محدوده سرعت ۳ تا ۴ کیلومتر بر ساعت و فشار ۳/۵- کیلوپاسکال، مقدار شاخص خطا برابر ۱۲/۰۹٪ می‌باشد که نسبت به دو سطح فشار دیگر بیش‌ترین مقدار را دارد. در محدوده سرعت ۶ تا ۸ کیلومتر بر ساعت شاخص خطا برای فشار ۳/۵- کیلوپاسکال (۱۲/۹٪) برابر با فشار ۴/۵- کیلوپاسکال (۱۲/۸٪) می‌باشد اما کم‌تر از مقدار این شاخص (خطا) در فشار ۲/۵- کیلوپاسکال (۱۵/۲٪) است. پس می‌توان نتیجه گرفت از بین دو مقدار شاخص کیفیت تغذیه که در دو محدوده سرعت پیشروی تعیین شده بیش‌ترین مقدار را دارند (۸۷/۰۲٪ و ۷۶/۹۵٪) به دلیل اینکه هر دو از خطا یکسانی برخوردارند، شاخص کیفیت با درصد بیش‌تر (۸۷/۰۲٪) در سطح اول سرعت و فشار ۳/۵- کیلوپاسکال قابل قبول می‌باشد. (Karayel et al. (2004) برای دو بذر هندوانه و خیار بهترین فاصله کاشت را تحت سرعت یک متر بر ثانیه و میزان مکش ۳ کیلوپاسکال با کمترین شاخص خطا به دست آوردند.

$$I_{miss} = 0.08770 - 0.24767P + 0.42733V + 0.02877P^2 - 0.11255V^2 + 0.02916PV \quad R^2 = 0.85 \quad (11)$$

$$I_{mul} = -2.14153 + 1.03785P + 1.01567V - 0.14298P^2 - 0.27980V^2 - 0.05297PV \quad R^2 = 0.76 \quad (12)$$

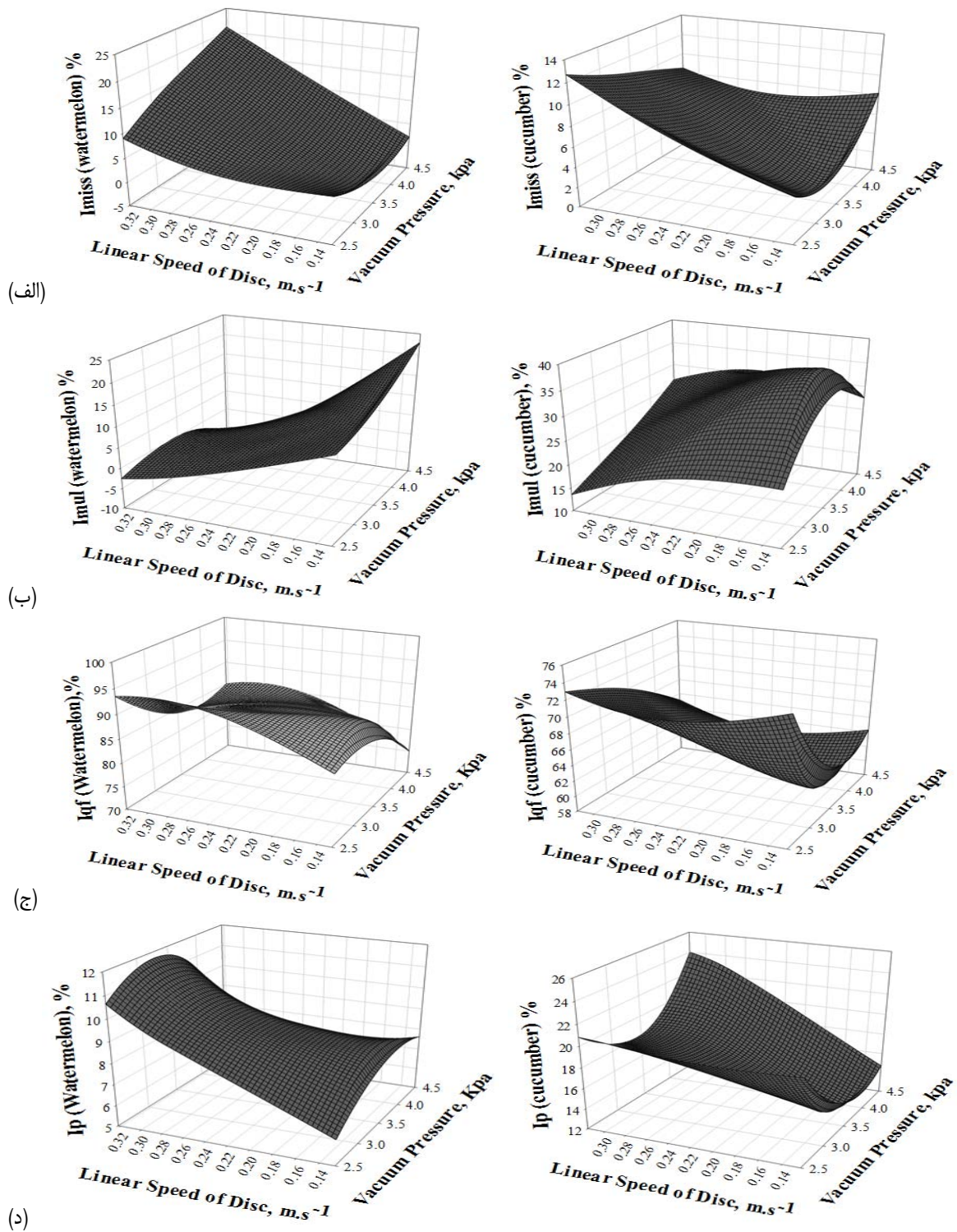
$$I_{qf} = 3.28201 - 0.90425P - 1.51175V + 0.13022P^2 + 0.41273V^2 + 0.02579PV \quad R^2 = 0.89 \quad (13)$$

$$I_p = -0.16936 + 0.08243P + 0.22806V - 0.01697P^2 - 0.07079V^2 + 0.01084PV \quad R^2 = 0.66 \quad (14)$$

بذر هندوانه: طبق رابطه ۱۵ شاخص نکاشت در سرعت

پیشروی ۳ تا ۴ کیلومتر بر ساعت و فشار ۲/۵- کیلوپاسکال و همچنین در سرعت پیشروی ۶ تا ۸ کیلومتر بر ساعت و فشار ۴/۵- کیلوپاسکال کوچک‌تر از ۱٪ به دست آمد، در صورتی که شاخص چندگانه (رابطه ۱۶) برای این سرعت‌ها به ترتیب ۲/۵٪ و ۳/۶٪ است. در سرعت ۳ تا ۴ کیلومتر بر ساعت و فشار ۳/۵- کیلوپاسکال شاخص چندگانه کم‌ترین مقدار خود (صفر درصد) و شاخص کیفیت تغذیه (رابطه ۱۷) بیش‌ترین مقدار خود که برابر ۹۶/۳۹٪ است، را دارد و شاخص نکاشت در این سرعت و فشار ۳/۶٪ به دست می‌باشد.

شاخص خطا بیانگر خوبی از یکنواختی فاصله‌ی کاشت طبق الگوی تعریف شده برای بذر کار است به طوری که کاهش میزان این شاخص بیان‌کننده‌ی افزایش کیفیت یکنواختی کاشت خواهد بود. بنابراین این شاخص، تحت تأثیر پارامترهای عملیاتی از جمله سرعت پیشروی و مکش صفحه تقسیم بذر (موز) می‌باشد. در سرعت‌های بالاتر و مکش پایین به دلیل اینکه بذور فرصت کافی برای چسبیدن به سلول‌های صفحه موز را ندارند، درصد نکاشت افزایش می‌یابد. درحالی‌که این روند تغییرات برای شاخص چندگانه برعکس می‌شود. برای بذر هندوانه و در شرایط آزمایشگاهی در سرعت ۶ تا ۸ کیلومتر بر ساعت، با افزایش مکش از ۲/۵- تا ۴/۵- کیلوپاسکال روندی



شکل ۵- اثر سرعت خطی دیسک و مکش کارنده نیوماتیکی (یونیسسم) بر شاخص‌های عملکردی در آزمایش مزرعه‌ای (Ip= شاخص خطا؛ Iqf= شاخص کیفیت تغذیه؛ Imul= شاخص چندگانه؛ Imiss= شاخص نداشت)

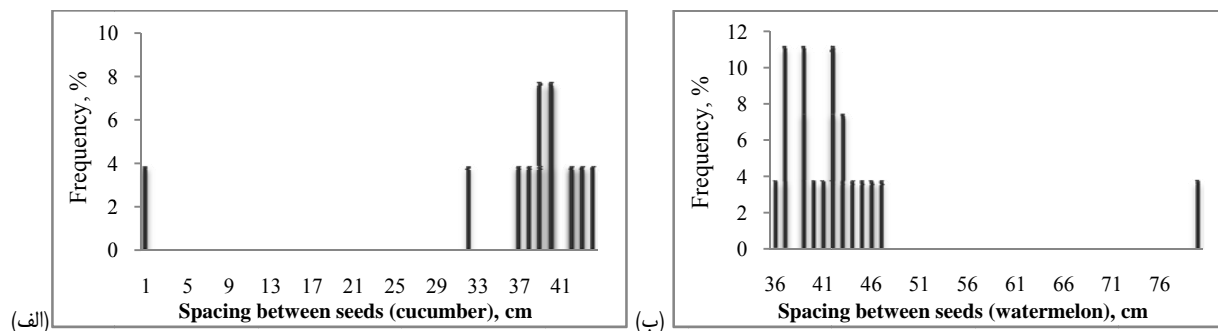
Fig.5. Effect of linear speed of disc and pressure on performance Indices of pneumatic planter (unissem) in field evaluation (Ip= Error index; Iqf= Quality of feed; Imul= Multiple index; Imiss= Miss index)

مقایسه بین شرایط مزرعه‌ای و آزمایشگاهی

با توجه به اینکه شاخص تغذیه برای کارنده تحت تأثیر میانگین فاصله کاشت و شاخص خطا است، نمودار درصد فراوانی فواصل بین بذور رسم گردید که این نمودار (شکل ۶ و ۷) به خوبی می‌تواند میزان شاخص خطا را نیز توجیه کند. پراکندگی فاصله‌ی بذور مشاهده شده تحت شرایط آزمایشگاهی برای بذر خیار حدود ۳۲ تا ۴۴ سانتی‌متر (حدود ۹۲٪ فاصله‌ی بذور) و بذر هندوانه حدود ۳۶ تا ۴۷ سانتی‌متر (حدود ۹۶٪ فاصله‌ی بذور) می‌باشد (شکل ۶) در حالی که تحت شرایط مزرعه برای بذر خیار از صفر تا ۹۴ سانتی‌متر و بذر هندوانه ۳۸ تا ۸۸ سانتی‌متر (برای میانگین فاصله‌ی مورد بررسی ۴۴/۵ سانتی‌متر) می‌باشد (شکل ۷) به طوری که برای بذر هندوانه حدود ۶۴٪ فواصل بین بذور در محدوده‌ی ۳۶ تا ۴۷ سانتی‌متری و برای بذر خیار نیز در شرایط مزرعه‌ای حدود ۲۸٪ از بذور در فاصله‌ی ۳۲ تا ۴۴ سانتی‌متری می‌باشد. (Singh et al. (2005) طی بررسی یکنواختی کاشت پنبه اعلام نمودند که ۸۸٪ بذور تحت شرایط آزمایشگاهی و ۴۹٪ تحت شرایط مزرعه‌ای در محدوده فاصله مورد نظر قرار داشتند.

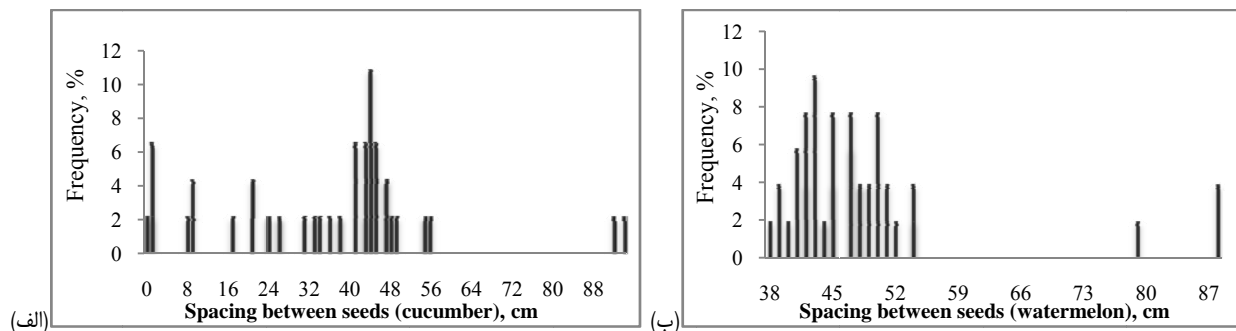
مقایسه‌ی فواصل بین بذور به خصوص در شرایط مزرعه نشان می‌دهد که بذر خیار دارای غیر یکنواختی بیشتری می‌باشد. شاید بتوان این غیر یکنواختی را به خصوصیات فیزیکی خیار از جمله نسبت طول به عرض برای بذر خیار ۲/۵۶ و برای بذر هندوانه ۱/۴۷ و چگالی آن که نسبت به بذر هندوانه کم‌تر بوده و هنگام سقوط بیش‌تر تحت تأثیر سرعت (سرعت سقوط بذور ناشی از سرعت خطی صفحه بذر و سرعت پیشروی می‌باشد) قرار می‌گیرد، ربط داد. در ضمن بذر خیار از دو جهت متقارن بوده و دارای نوک تیز می‌باشد به طوری که با بررسی فیلم‌های گرفته شده مشاهده گردید بذر خیار هنگام سقوط، حرکت چرخشی هم داشته و این حرکت باعث جابه‌جایی‌های عرضی بیش‌تر می‌شد.

برای هر دو بذر بیش‌ترین درصد کیفیت تغذیه (شکل ۵-ج) در فشار ۲/۵- کیلوپاسکال به دست آمد اما برای بذر خیار در سرعت پیشروی ۳ تا ۴ کیلومتر بر ساعت و برابر با ۷۳/۶٪ و بذر هندوانه در سرعت ۶ تا ۸ کیلومتر بر ساعت و برابر با ۹۴٪ تعیین گردید اما میزان شاخص خطا برای این تیمار برابر ۱۲٪ می‌باشد. در صورتی که در تیمار محدوده ۳ تا ۴ کیلومتر بر ساعت و مکش ۳/۵- کیلوپاسکال با کیفیت تغذیه ۸۸٪ از شاخص خطای (۶٪) کمتری برخوردار است. پس در واقع بهترین تیمار برای بذر هندوانه تیماری است که علاوه بر اینکه دارای کیفیت تغذیه بالایی است از خطای کمی نیز برخوردار باشد. انتظار می‌رفت که بالاترین درصد کیفیت کاشت در کم‌ترین مقدار شاخص خطا (شکل ۵-د) به دست آید. اما برای هر دو بذر این چنین نبود. به طوری که مقدار شاخص خطا برای بذر هندوانه برابر ۶/۲٪ در سرعت پیشروی محدوده ۳ تا ۴ کیلومتر و فشار ۲/۵- کیلوپاسکال بود و برای بذر خیار ۱۳/۳٪ و در سرعت ۳ تا ۴ کیلومتر بر ساعت و فشار ۳/۵- کیلوپاسکال به دست آمد. پس می‌توان نتیجه گرفت که برای هر دو بذر هندوانه و خیار، تیمار دارای بهترین کیفیت تغذیه، از بهترین پراکندگی فواصل بذر در محدود ۲۲/۵ سانتی‌متر تا ۶۷/۵ سانتی‌متر برخوردار نمی‌باشد. این شاخص (خطا) از تقسیم انحراف استاندارد شاخص کیفیت کاشت بر فاصله تئوری به دست می‌آید که با توجه به محدوده‌ی فاصله‌ای در نظر گرفته شده برای این شاخص ممکن است درصد بیشتری از فواصل دورن این محدوده انحرافشان از میانگین زیاد باشد و این امر باعث افزایش میزان شاخص خطا شده است. دلیل این امر را می‌توان به شرایط مزرعه‌ای که غیر قابل پیش‌بینی بوده نسبت داد. طی بررسی‌های انجام شده برای بهینه‌سازی مهم‌ترین پارامترهای عملیاتی بذرکار نیوماتیک برای کاشت پنبه توسط Singh et al. (2005) بهترین یکنواختی کاشت با ۹۴٪ در کم‌ترین شاخص دقت (۸/۷-۸/۹٪) و در محدوده سرعت صفحه بذر ۰/۴۴ تا ۰/۳۴ متر بر ثانیه و مکش ۲ کیلوپاسکال به دست آمد.



شکل ۶- درصد فراوانی فاصله‌ی پخش بذر (الف: خیار، ب: هندوانه) در آزمایشگاه

Fig.6: Frequency distribution (%) of seed space in the laboratory (a: Cucumber, b: Watermelon)



شکل ۷- درصد فراوانی فاصله‌ی پخش بذر (الف: خیار، ب: هندوانه) در مزرعه

Fig.7. Frequency distribution (%) of seed space in the field evaluation (a: Cucumber, b: Watermelon)

جدول ۴- شاخص‌های پراکندگی خیار و هندوانه در دو شرایط آزمایشگاهی و مزرعه‌ای

Table 4- Distribution indices of pneumatic seed planter under laboratory and field conditions

آزمایشگاهی/مزرعه‌ای Laboratory/field	میانگین Mean	انحراف استاندارد Standard deviation	خطای استاندارد Standard error
خیار Cucumber			
مزرعه Field	36.78478	20.43154	3.012467
آزمایشگاه Laboratory	35.88	12.2518584	2.20049873
هندوانه Water melon			
مزرعه Field	48.55614	10.16453	1.409566
آزمایشگاه Laboratory	42.74	8.01485444	8.27535386

با هم روی یکنواختی فواصل بین بذور بررسی نمود. به‌طوری‌که در بررسی‌های انجام شده بهترین یکنواختی فاصله‌ی کاشت برای بذر هندوانه در هر دو شرایط آزمایشگاهی و مزرعه‌ای در محدوده سرعت ۳ تا ۴ کیلومتر بر ساعت و مکش ۳/۵- کیلوپاسکال می‌باشد. همچنین برای بذر خیار در شرایط آزمایشگاهی در سرعت پایین و فشار ۴/۵- کیلوپاسکال و در مزرعه در فشار ۲/۵- کیلوپاسکال و سرعت پایین بهترین یکنواختی را نشان دادند. همان‌طور که از نتایج برمی‌آید در شرایط آزمایشگاهی نتایج به‌دست آمده تقریباً قابل پیش‌بینی بوده اما در مزرعه با توجه به شرایط زمین نتایج متفاوتی به‌دست آمد. به‌طور کلی پراکندگی بذور در شرایط مزرعه‌ای بیش‌تر از شرایط آزمایشگاهی می‌باشد.

در صورتی‌که بذر هندوانه از یک جهت نوک تیز بوده که همین اختلاف می‌تواند باعث حرکات نامنظم‌تر بذر خیار شود. Drake (1991) با انجام آزمایشات بر جریان دانه به کمک دوربین سرعت بالا و پردازش تصویر، شکل دانه را یکی از عوامل مهم در نوسانات دوبعدی دانه در مسیر حرکتی گزارش کردند.

نتیجه‌گیری

موزع نیوماتیکی بذرکار در هر دو شرایط آزمایشگاهی و مزرعه‌ای بیشتر تحت تأثیر سرعت پیشروی (که سرعت چرخش صفحه‌ی تقسیم بذر را تحت تأثیر قرار می‌دهد) می‌باشد. البته مکش موردنیاز برای نگهداشتن بذر به سلول‌های صفحه تقسیم بذر نیز بر یکنواختی کاشت مهم می‌باشد و بایستی حتماً تأثیر دو فاکتور سرعت و مکش را

References

1. Afify, M., Z. El-Haddad, G. Hassan, and Y. Shaaban. 2009. Mathematical model for predicting vacuum pressure of onion seeds precision seeder. *Journal of Agricultural Engineering* 26 (4): 1776-1799.
2. Alchanatis, V., Y. Kashti, and R. Brikman. 2002. A machine vision system for evaluation of planter seed spatial distribution. *Agricultural Engineering International: the CIGR Journal of Scientific Research and Development Manuscript IT 4*: 1-5.
3. Allan, J., A. J. Campbell, and C. J. Baker. 1989. An X-Ray technique for determining three dimensional seed placement in soil. *Transactions of the ASAE* 32 (2): 379-384.
4. Bozdogan, A. M. 2008. Seeding uniformity for vacuum precision seeders. *Journal of Scientia Agricola* 65

- (3): 318-322.
5. Bracy, R., R. Parish, and J. McCoy. 1999. Precision seeder uniformity varies with theoretical spacing. *Hort Technology* 9 (1): 47-50.
 6. Datta, R. K. 1974. Development of some seeders with particular reference to pneumatic seed drills. *The Harvester*, Indian Institute of Technology, Kharagpur, India 16: 26-29
 7. Drake, T. G. 1991. Granular flow: physical experiments and their implications for microstructural theories. *Journal of Fluid Mech* 225: 121-152.
 8. Gil, E., and R. Carnasa. 1996. Working quality of spacing drills, effects of sowing speed and type of seed. In: *International conference on agricultural engineering, Madrid, Proceedings Madrid: AGENG 96: 57-58.*
 9. Guarella, P., A. Pellerano, and S. Pascuzzi. 1996. Experimental and theoretical performance of a vacuum seed nozzle for vegetable seeds. *Journal of Agricultural Engineering Research* 64 (1): 29-36.
 10. Heege, H. 1993. Seeding methods performance for cereals, rape, and beans. *American Society of Agricultural and Biological Engineers* 36 (3): 653-661.
 11. Karayel, D., M. Wiesehoff, A. Ozmerzi, and J. Muller. 2006. Laboratory measurement of seed drill seed spacing and velocity of fall of seeds using high-speed camera system. *Computers and Electronics in Agriculture* 50: 89-96.
 12. Karayel, D., Z. B. Barut, and A. Ozmerzi. 2004. Mathematical modeling of pressure on a precision seeder. *Biosystems Engineering Journal* 87 (4): 437-444.
 13. Karayel, D., and A. Ozmerzi. 2001. Effect of forward speed and seed spacing on seeding uniformity of a precision vacuum metering unit for melon and cucumber seeds. *Journal of the Faculty of Agriculture* 14 (2): 63-67.
 14. Katchman, S., and J. Smith. 1995. Alternative measures of accuracy in plant spacing for planter using single seed metering. *Transactions of the American Society of Agricultural and Biological Engineers* 38: 379-387.
 15. Kazemi, N., M. Almasi, H. Bahrami, M. J. Shaykh Davoodi, and M. Mesgarbashi. 2014. Efficacy analysis of management major factors affecting on overall energy efficiency of tractor implement by real-time performance monitoring. *The 8th National Congress on Agriculture Machinery Engineering (Biosystem) and Mechanization, 29-31 January, Mashhad, Iran. (In Farsi).*
 16. Kocher, M., Y. Lan, C. Chen, and J. A. Smith. 1998. Optoelectronic sensor system for rapid evaluation of planter seed spacing uniformity. *Transactions of the American Society of Agricultural and Biological Engineers* 41 (1): 237-245.
 17. Lan, M. F., Y. Lan, C. Chen, and J. A. Smith. 1999. Opto- Electronic sensor system for laboratory measurement of planter seed spacing with small seeds. *Journal of Agricultural Engineering Research* 72: 119-127.
 18. Panning, J. W., M. F. Kocher, J. A. Smith, and S. D. Kachman. 2000. Laboratory and field testing of seed spacing uniformity for sugar beet planters. *Applied Engineering in Agriculture* 16 (1): 7-13.
 19. Raheman, H., and U. Singh. 2003. A sensor for flow seed metering mechanisms. *IE (I) Journal-AG* 84: 6-8.
 20. Shafii, S., and R. G. Holmes. 1990. Air jet seed metering a theoretical and experimental study. *Transactions of the ASAE* 33 (5): 1432-1438.
 21. Singh, R. C., G. Singh, and D. C. Saraswat. 2005. Optimization of design and operational parameters of a pneumatic seed metering device for planting cottonseeds. *Biosystems Engineering* 92 (4): 429-438.
 22. Zulin Z., S. K. Upadhyay, S. Safii, and R. E. Garret. 1991. A hydro pneumatic seeder for primed seeds. *Transactions of the ASAE* 34 (1): 21-26.

Optimization of the most important operational parameters of a pneumatic seeder using real-time monitoring for Cucumber and Watermelon seeds

Z. Abdollahzare¹- M. A. Asoodar²- N. Kazemi^{3*}- M. Rahnama⁴- S. Abdanan Mehdizadeh⁵

Received: 20-07-2014

Accepted: 09-11-2014

Introduction: Since the application of pneumatic planters for seeds with different physical properties is growing, it is essential to evaluate the performance of these machines to improve the operating parameters under different pressures and forward speeds. To evaluate the performance of precision vacuum seeders numerous procedures of laboratory and field have been developed and their feed mechanism evaluation is of great importance. The use of instrumentation is essential in laboratory procedures. Many systems have been designed, using instrumentation, to be able to monitor seed falling trajectory and as a result, in those systems the precise place of falling seed in the seed bed could be determined. In this study, the uniformity of seed spacing of a seed drill was determined using of high speed camera with a frame rate of 480 frames s⁻¹. So that, the uniformity of planting was statistically significant under the influence of the speed of seed metering rollers (Karayel *et al.*, 2006). Singh *et al.* (2005) studied the effects of disk rotation speed, vacuum pressure and shape of seed entrance hole on planting spacing uniformity using uniformity indices under laboratory and field conditions. They reported miss index values were reduced as the pressure was increased but they were increased with increasing of the speed. The multiple indices on the other hand were low at higher speed but they were increased as the pressure was increased. Ground speed was affected by changes in engine speed and gear selection, both of which effect on amount of fan rotation speed for different pressures. The aim of this study was to identify and determine the effects of forward speed and optimum vacuum pressure amount of the pneumatic seeder.

Materials and Methods: The pneumatic planter (Unissem) was mounted on a tractor (MF399) and passed over the soil bin. Thus, the acquired data would be more reliable and practical. To do so, the tractor was equipped with electronic devices for online measurement of various parameters, including: the actual forward speed, wheel sleep percent, drawbar pull, motor RPM, and fuel consumption. Wheel drive of the seed metering mechanism was equipped with Rotary Encoder model S48-8-0360ZT (TK1) to determine the seed disk rotation. For more precise vacuum pressure monitoring, a Vacuum Transmitter model BT 10-210 was used to measure relative pressure from 0 mbar to -1000 mbar. Investigation of seed falling trajectories was conducted using the AVI video acquisition system consisted of CCD (charge-coupled device) camera (Fuji F660EXR) capable of capturing images with a constant speed of 320 frames per second and a spatial resolution of 320×240 pixels. All data were transmitted to a data logger and displayed online on the PC's screen.

For optimization of the factors affecting the performance of the pneumatic planter, the experiments were conducted with: two ranges of forward speeds [3 to 4 km h⁻¹, and 6 to 8 km h⁻¹]; three levels of vacuum pressure [-2.5kPa, -3.5kPa and -4.5 kPa]; and two types of seed [cucumber and watermelon], keeping a three-factor factorial experimental design. The tests were replicated three times. The uniformity of seed spacing was measured with indicators described by Kachman and Smith (1995) which are defined as:

$$I_{miss} = \frac{N_1}{N} \times 100 \quad (1)$$

$$I_{mul} = \frac{N_2}{N} \times 100 \quad (2)$$

$$I_{qf} = 100 - (I_{mul} + I_{miss}) \quad (3)$$

$$P = \frac{s_d}{x_{ref}} \quad (4)$$

Which for planting distance of 45 cm, N₁ is number of spacing > 1.5X_{ref}, N₂ is number of spacing ≤ 0.5X_{ref} and N is total number of measured spacings, S_d is standard deviation of the spacing more than half but not more than 1.5 times, the set spacings X_{ref}, I_{miss} is the miss index, I_{mul} is the multiple index, quality of feed index I_q is the percentage of spacings that are more than half but not more than 1.5 times, the set planting distance and P is

1, 2 & 3- MSc student, Professor and Assistant Professor, respectively, Department of Agricultural Machinery and Mechanization Engineering, Faculty of Agricultural Engineering and rural development, Ramin Agriculture and Natural Resources University, Khuzestan, Iran

4, 5- Assistant Professors, Department of Mechanics of Biosystems Engineering, Faculty of Agricultural Engineering and rural development, Ramin Agriculture and Natural Resources University, Khuzestan, Iran

(*- Corresponding Author Email: navab20@yahoo.com)

error index.

Results and Discussion: According to the studies on both watermelon and cucumber, the 'quality of feed index' value in forward speed rang of 6 to 8 km h⁻¹ was less than one in forward speed rang of 3 to 4 km h⁻¹. Also, the 'error index' value in forward speed rang 3 to 4 km h⁻¹ was little rather than forward speed rang of 6 to 8 km h⁻¹, but it was desirable.

For watermelon and cucumber seeds, the 'quality of feed index' were the maximum with mean of 97% and 87% under vacuum pressures of -2.5 kPa and -4.5 km h⁻¹, respectively and forward speed of 3 to 4 km h⁻¹; so that for cucumber seed in the mention treatment, the 'miss index' was lowest with mean of zero.

The 'multiple index' was highest with mean of 6% at 3 to 4 km h⁻¹ forward speed and vacuum pressures of -4.5 for watermelon seed. Values of this index at both forward speed and three levels of vacuum pressures, for cucumber seed was more than watermelon seed.

Miss index values were reduced as the pressure was increased but increased with increasing of speed. With lower vacuum pressure and at higher speeds, the metering disc did not get enough time to pick up seeds, resulting the higher miss indices. On the other hand, the multiple indices were low at higher speed but were increased as the pressure was increased (Panning *et al.* 2000; Zulin *et al.* 1991).

Conclusions: It was observed that seed spacing uniformity was affected by both speed and pressure but not equally. Extracted regression models showed that the best uniformity of spacing for watermelon seed obtained at the rang of speed of 3 to 4 km/h and pressure of -3.5 kPa with a error in spacing of 7% in laboratory condition. Furthermore, in field condition the best uniformity of the seed space occurred at the pressure of -2.5 kPa and rang of speed of 6 to 8 km/h with a 9% error. Similarly, for cucumber seed results showed that the best uniformity obtained at the rang of speed of 3 to 4 km.h⁻¹ and pressure of -4.5 kPa in laboratory condition, and at the low speed and pressure of -2.5 kPa in the field.

Keywords: Field test, Image processing, Pneumatic seeder, Pressure, Uniformity seed spacing