نشریه ماشین‌های کشاورزی
جلد4، شماره 1، نیمسال اول 1393، ص 72-65

Journal of Agricultural Machinery
Vol. 4, No. 1, Spring - Summer 2014, p. 65-72

طراحی، ساخت و ارزیابی دستگاه بذرکار خودکار پنوماتیک جهت تهیه سینی نشاء

احسان موحدی[1*] - میثم رضوانی[2] - عباس همت[3]

تاریخ دریافت: 91/12/12
تاریخ پذیرش: 92/3/8

چکیده

به‌منظور کشت بذور ریز در داخل سینی‌های پرورش نشاء، یک دستگاه بذرکار خودکار پنوماتیک طراحی، ساخته و ارزیابی گردید. از نرم‌افزار Catia در طراحی و تحلیل سامانه‌ها استفاده شد. قسمت‌های مختلف دستگاه شامل مخزن بذر ارتعاشی، بوم مکشی، نازل‌های بردارنده بذور، لوله‌های سقوط، سامانه‌ی پنوماتیک و واحد کنترل الکترونیک جهت خودکار نمودن دستگاه ساخته و مورد آزمایش قرار گرفت. از اندازه سوراخ نازل جهت محاسبه‌ی میزان فشار لازم در سر نازل برای مکش بذور استفاده شد. دو نوع سینی کشت نشاء مورد ارزیابی قرار گرفت و نتایج نشان داد که خطای کاشت برای سینی 105 و 390 سلولی به‌ترتیب در حدود 1/9 و 0/46 درصد است. زمان کاشت برای سینی نشاء 105 و 390 سلولی نسبت به روش دستی به ترتیب از 20 min به 35 s و از 90 min به 160 s به‌وسیله‌ی کاشت با دستگاه، کاهش یافت.

واژه‌های کلیدی: سامانه‌ی پنوماتیک، کشت خودکار، کنترل‌کننده AVR، مخزن بذر ارتعاشی

مقدمه

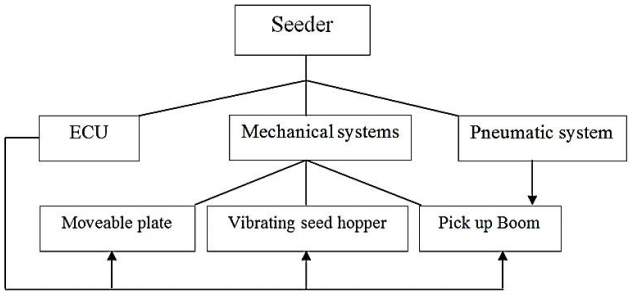
از متداول‌ترین روش‌های تکثیر و ازدیاد گیاهان در گلخانه‌ها، کشت بذر یا بذرکاری است. قرار دادن تعداد معینی بذر در خاک به‌منظور جوانه زدن و رشد، یک نوع تکثیر جنسی است که بسیاری از گیاهان با این روش تکثیر می‌شوند و در 4 روش بذرپاشی، خطی کاری، کپه کاری و خزانه کاری انجام می‌گیرد (Srivastava, 2006). در روش خزانه کاری، هر بذر به همراه خاک و رطوبت کافی در داخل یک سلول سینی نشاء قرارگرفته (تک دانه کاری) و تا زمان رشد کافی در فضای گلخانه نگهداری می‌شود. استفاده از این روش موجب افزایش قابلیت رشد گیاه و عدم بروز بیماری‌های گیاهی و همچنین مدیریت بهینه در زمینه‌ی آبیاری و نگهداری از نشاء است (Dong *et al.*, 2005). امروزه با پیشرفت روزافزون فناوری در کشاورزی و با استفاده از روش‌های مدرن مکانیزه، صنعت کشت انواع مختلف بذر در سینی‌های نشاء رویکرد ویژه‌ای پیدا کرده است و بهره‌گیری از این صنعت در میان کشورهای پیشرفته مانند کشورهای آمریکا، هند و هلند موجب افزایش تولید و کاهش هزینه‌های آن شده است. کشور هند به‌عنوان دومین تولیدکننده‌ی سبزیجات در جهان، بسیاری از تولیدات نشاء خود را از روش تک دانه کاری در سینی‌های نشاء تولید می‌نماید (Gaikwad and Sirohi, 2008). تاکنون روش تک دانه کاری بذرهای مختلف که شامل قرارگیری یک بذر در یکی از سلول‌های سینی نشاء است، توسط سامانه‌های متنوع بذرکار انجام شده است. برای کاشت بذرهای بیضی شکل دستگاهی اختراع شد ولی توان کافی برای کاشت بذرهایی با شکل نامنظم را نداشت (Hanacek *et al.*, 1984). همچنین قالب بذرکاری شامل یک صفحه‌ی پلاستیکی مستطیل شکل که سوراخ‌هایی بر روی آن به‌منظور مکش بذور ایجاد شده بود ساخته شد و پس از مکش بذور، با قرار دادن آن بر روی سینی نشاء عمل کشت را انجام می‌داد که البته برای سینی‌های نشاء مختلف و بذور متفاوت باید صفحه‌ی سوراخ دار تعویض شود (Marr, 1991). برای کاشت بذرهای سبزیجات مختلف با اشکال هندسی تخت و کروی کارنده‌ی مکشی چند منظوره ساخته شد که سرعت کاشت آن 36 مرتبه از روش دستی سریع‌تر بود (Chen *et al.*, 1993). بازده ماشین کارنده بذور 18 نوع از سبزیجات مورد مطالعه قرار گرفت. نتایج نشان داد که درجه‌ی مکش هوا، قطر نازل، روش قرار دادن بذر در لوله‌ی انتقال آن به سینی نشاء، شکل بذر، تمیز بودن آن و صافی سطح آن بر بازده ماشین تأثیرگذار است (Zigmanov, 1997). برای کشت منظم بذرهای درشت مانند بذر خربزه و هندوانه دستگاهی طراحی و ساخته

1- دانشجوی دکترای مکانیک ماشین‌های کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان
2- دانش آموخته کارشناسی ارشد مکانیک ماشین‌های کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان
3- استاد گروه مکانیک ماشین‌های کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان
(*- نویسنده مسئول: (Email: E.movahedi@ag.iut.ac.ir

شد که کوچک‌ترین بذر مورد استفاده دارای قطر 1/5 mm بوده و بذور ریزتر با آن کشت نشد (Kim *et al.*, 2003). جهت کشت بذور در سینی‌های نشاء بذرکار مغناطیسی دقیق ساخته شد که برداشت بذور روکش داده شده به‌وسیله‌ی پودر مغناطیسی انجام می‌شد (Hu *et al.*, 2003). بذرکار سینی شکل، به همراه کوبنده‌ی خاک، برای ظرفیت 100-50 سینی در ساعت جهت کشت بذور ریز سبزیجات ساخته شد و همچنین کارنده‌ی مکشی استوانه دوار نیز ساخته شد (Rathinakumari *et al.*, 2005). در ایران روش تک دانه کاری در سینی‌های نشاء به‌منظور پرورش و تولید نشاء از مهم‌ترین روش‌های تولید گل‌های زینتی و سبزیجات است به‌خصوص در دهه‌های اخیر با افزایش سطح زیر کشت گلخانه‌ها، تولید انواع محصولات کشاورزی اعم از میوه، گل و نهال آن‌ها، روند رو به رشدی داشته است. سطح زیر کشت گلخانه‌های ایران در سال 2010 به 7710 هکتار رسیده که این سطح زیر کشت نسبت به سال 2009 بیش از 429 هکتار توسعه یافته است و از این میزان حدود50 هکتار به تولید نشاء گل و گیاهان زینتی اختصاص داده شده است (Statistics, 2013). تک دانه کاری بذرهای مختلف در گلخانه‌های ایران با مشکلاتی همچون صرف هزینه‌ی بالای نیروی کارگری، صرف زمان زیاد، عدم دقت کاشت بذرهای ریزدانه مواجه است. به‌دلیل نبود تجربه و اطلاعات کافی، تجهیزات خاص این عرصه نه تنها در داخل کشور ساخته نشده است، بلکه به‌علت عدم شناخت گلخانه داران نسبت به این تجهیزات، از کشورهای خارجی نیز به‌صورت محدود وارد شده است و راندمان تولیدات گلخانه‌ای در واحد سطح، در سطح پایین‌تری نسبت به سطح جهانی قرار گرفته است (Yalinejad, 1997). به‌همین منظور طراحی و ساخت دستگاهی با قابلیت کشت مکانیزه بذرهای مختلف در سینی نشاء برای استفاده عموم کاربران، موجب تسهیل کشت بذر و در نهایت تولید نشاء با کیفیت بالاتر خواهد شد. در تحقیق حاضر دستگاه بذرکار خودکار پنوماتیک طراحی و ساخته شد که قابلیت کاشت انواع مختلف بذور روکش داده شده‌ی سبزیجات مانند خیار، گوجه، فلفل، شلغم و غیره و نیز انواع مختلف بذور روکش داده شده‌ی گل‌های زینتی مانند اطلسی، لسیسانتوس، پامچال و غیره را در سینی نشاء دارد.

مواد و روش‌ها

در طی مراحل اولیه فرآیند طراحی تا پایان ساخت دستگاه بذرکار خودکار پنوماتیک، ویژگی‌های دستگاه شامل مواردی چون: وزن سبک و سهولت حمل‌ونقل، کاربری آسان برای افراد عادی، قابلیت کاشت بذور مختلف در انواع سینی‌های نشاء، سرعت کارکرد بالا و دقت کافی در کاشت بذور و عملکرد آن مورد نظر بود. با توجه به ویژگی‌های بیان شده برای دستگاه تک دانه کار سینی‌های نشاء، کلیه‌ی اجزای دستگاه شامل مکانیزم بردارنده بذور و متعلقات، مکانیزم حرکت کفی متحرک، مخزن ارتعاشی و شاسی دستگاه و نیز نمای تکمیل شده‌ی آن در نرم‌افزار Catia با در نظر گرفتن استاندارد قطعات مورد نیاز، طراحی شد. پس از طراحی اجزای دستگاه در نرم‌افزار، در محیط سینماتیک و آنالیز نرم‌افزار Catia بر روی کلیه‌ی مکانیزم‌های طراحی شده‌ی دستگاه تحلیل سینماتیکی و المان محدود انجام گرفت (CATIA, 2009). دستگاه بذرکار خودکار پنوماتیک از چهار قسمت اصلی ساخته شده است: شاسی که کلیه‌ی قطعات و مکانیزم‌ها بر روی آن نصب می‌شود، سامانه مکانیکی که عمل انتقال بذور از مخزن ارتعاشی به لوله‌های سقوط و نیز حرکت سینی نشاء را در زیر لوله‌های سقوط انجام می‌دهد، سامانه پنوماتیک که باعث مکش بذور از مخزن ارتعاشی و پرتاب آن به داخل لوله‌های سقوط می‌شود و واحد کنترل الکترونیکی که عملکرد کلیه‌ی مکانیزم‌ها را کنترل می‌کند (شکل 1).



شکل 1- سامانه‌های دستگاه بذرکار خودکار پنوماتیک و ارتباط آن‌ها با یکدیگر

Fig.1. Automatic pneumatic seeder's components and their relations to each other

جهت ارزیابی دستگاه از بذور گل اطلسی روکش داده شده[1] با قوه‌ی نامیه‌ی 84% استفاده شد. قطر هر یک از بذور مورد استفاده، 1 mm - 0/8 بود که به این منظور از نازل‌هایی با قطر سوراخ 0/5 mm بر روی بوم مکنده استفاده شد تا هنگام مکش هوا توسط نازل‌ها، بذر روکش داده شده‌ی کروی شکل به داخل نازل فرو نرود. فشار خلأ بر حسب فشار هوای ورودی به خلأ ساز با قرار دادن فشارسنج خلأ در ورودی بوم مکشی و تنظیم شیر کنترل جریان اندازه‌گیری شد. فشار نوک نازل‌های بوم مکشی به اندازه‌ای تنظیم شد که مکش بذور به سهولت انجام گرفته و تا حد ممکن به روکش بذور آسیبی نرسد. 1000 عدد بذر در داخل مخزن ریخته شد و همچنین شدت ارتعاش به‌گونه‌ای تنظیم گردید که بذور به اندازه حدود 5 mm به بالا و پایین جهش داشته باشند. آزمایش‌ها با دو نوع سینی نشاء 105 و 390 سلولی با 5 تکرار انجام شد.

طراحی و ساخت شاسی اصلی دستگاه

شاسی دستگاه متناسب با ابعاد لازم جهت کشت در سینی نشاء در محیط ورق کاری[2] نرم‌افزار Catia طراحی شد. شاسی اصلی از ورق فولاد استاندارد DIN 10051 با ضخامت 3 mm که پس از خم‌کاری، به‌وسیله رنگ الکترواستاتیک پوشانده شده بود ساخته شد (Fischer, 2010). کلیه‌ی قطعات دستگاه به شاسی اصلی متصل شد. طول، عرض و ارتفاع آن به‌ترتیب 60، 60 و 55 cm است (شکل 2).

طراحی و ساخت سامانه مکانیکی

سامانه‌ی مکانیکی شامل مخزن بذر و اجزای آن، بوم مکشی و لوله‌های انتقال بذر به سینی نشاء (لوله‌های سقوط) و کفی متحرک است. برای قرارگیری بذور در دستگاه، مخزن بذر ارتعاشی طراحی شد. به‌دلیل کوچک بودن قطر بذور روکش داده شده که حدود 1 mm - 0/8 است و با توجه به قیمت و حساسیت بالای این نوع بذور، لازم بود تا مخزن بذر به‌گونه‌ای طراحی گردد که با حداقل بذر ریخته شده در مخزن، دستگاه قادر به کاشت سریع و بدون خطا باشد. به همین دلیل مقطع مخزن بذر به شکل V طراحی شد تا بذور در قسمت عمیق‌تر مخزن جمع شود. نصب مخزن بر روی دستگاه به گونه‌ای بود که قسمت عمیق مخزن (محل تجمع بذور) دقیقاً در زیر نازل‌های مکنده باشد، به این ترتیب با حداقل تعداد بذور ریخته شده در مخزن و قرارگیری آن‌ها در یک نوار (در قسمت عمیق مخزن) می‌توان عمل کشت را انجام داد (شکل 2).

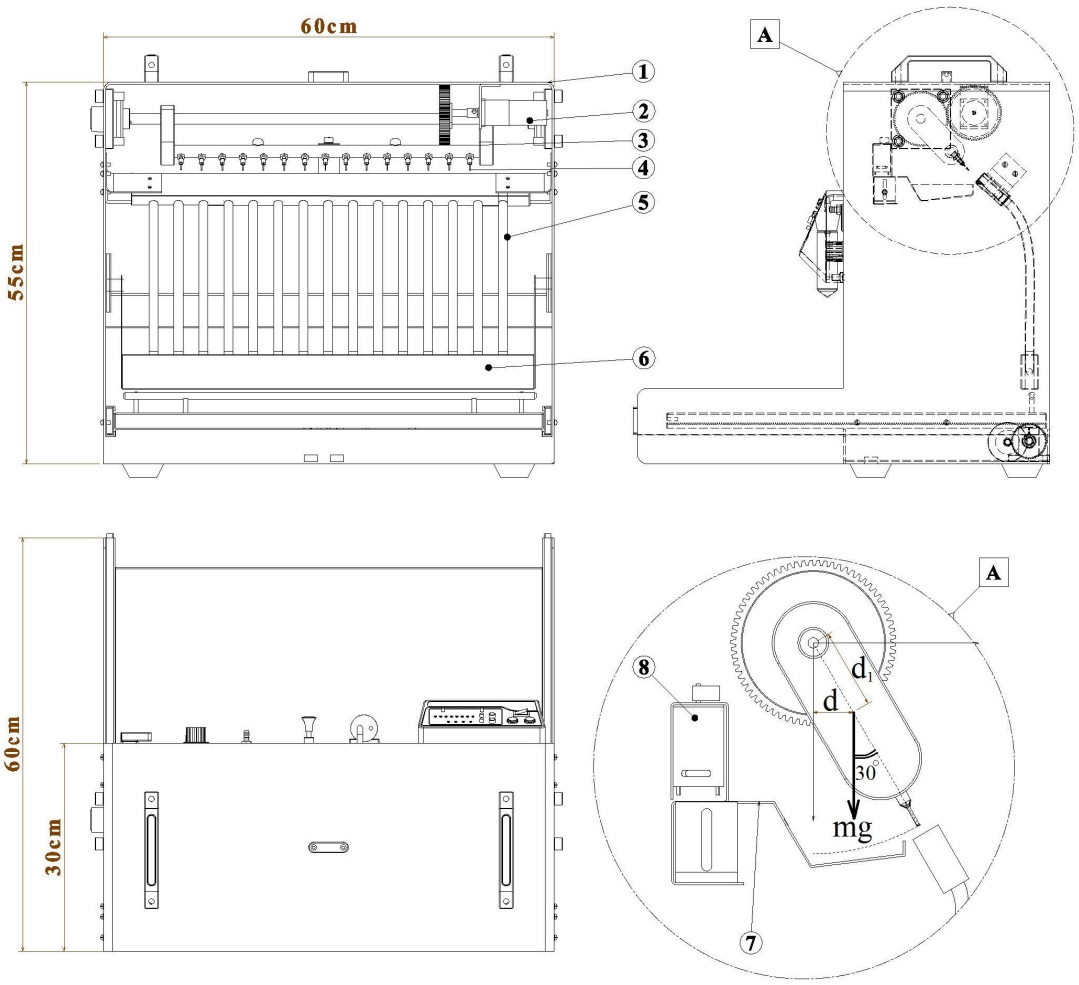
مخزن بذر ارتعاشی متناسب با ظرفیت کاشت توسط دستگاه طراحی و ساخته شد که در طراحی آن عواملی همچون خواص فیزیکی بذور، مشخصه‌های ارتعاشی جنس مخزن و نیز سهولت برداشت بذور از داخل آن در نظر گرفته شد. مخزن از ورق فولاد ضد زنگ 304L با ضخامت 1/25 mm ساخته شد و ظرفیت آن به اندازه‌ای در نظر گرفته شد که یک لایه از بذور ریز مانند بذر گل اطلسی در زیر نازل‌ها قرار گیرد و با این مقدار بذر بتوان در حدود 15 min عمل کشت را توسط دستگاه انجام داد. با توجه به شکل 2 زاویه‌ی دیواره‌های مخزن به گونه‌ای انتخاب شد که علاوه بر قرارگیری بذور در عمق مخزن و در زیر نازل‌ها، حرکت بوم مکشی به سهولت و بدون برخورد به لبه‌ی مخزن انجام گیرد. ارتعاش مخزن بذر موجب جهش بذور و سهولت مکیده شدن آن‌ها توسط نازل‌ها می‌گردد. برای ارتعاش مخزن از یک موتور 12V DC، مدل Johnson به همراه یک وزنه‌ی 5 g خارج از مرکز (لنگ) بر روی محور آن استفاده شد که میزان ارتعاش ایجاد شده توسط آن، به‌وسیله تغییر دور موتور از طریق میکروکنترلر قابل تغییر است (Thomson, 1993).

مخزن بذر به شاسی داخلی دستگاه متصل شد. محل پیچ اتصال تسمه به بدنه به‌صورت شیار طراحی شد که برای اندازه‌های مختلف بذور، فاصله‌ی کف مخزن از نازل‌ها قابل تنظیم باشد. برای یکنواختی جهش بذور در مخزن، مجموعه موتور و قسمت لنگی در وسط مخزن بذر نصب گردید. هنگام ساخت دستگاه، نصب مخزن به گونه‌ای صورت گرفت که با قرارگیری دستگاه به‌صورت تراز بر روی تکیه‌گاه (میز یا زمین) و ارتعاش مخزن، بذور به‌صورت یکنواخت در سطح آن توزیع شوند. با استفاده از دو عدد نشانگر تراز که بر روی شاسی اصلی دستگاه نصب شده، تراز طولی و عرضی دستگاه حین کار با آن مشخص می‌گردد.

طراحی و ساخت بوم مکشی و لوله‌های انتقال بذر به سینی نشاء

برای برداشتن بذور از داخل مخزن ارتعاشی، بوم استوانه‌ای شکل طراحی و ساخته شد که تعدادی نازل سوزنی شکل به فواصل مساوی به آن متصل گردید. حجم داخلی لوله‌ی بوم باید به گونه‌ای باشد که در کمترین زمان ممکن، هوای داخل آن توسط خلأ ساز مکیده شود. با در نظر گرفتن حداقل قطر ممکن برای لوله‌ی بوم، به‌طوری که بتوان در مرحله‌ی ساخت نازل‌ها و خروجی‌های تخلیه‌ی هوا را بر روی آن سوار نمود، از لوله فولادی با قطر خارجی 18 mm و ضخامت 3 mm و طولی بیشتر از طول سینی نشاء استفاده شد که دو سر آن بسته شده و دو ورودی جریان هوا در طول لوله بر روی آن قرار داده شد که مکش هوای درون لوله از طریق ورودی‌ها انجام می‌گیرد.

1- Petunia pelleted seeds
2- Generative sheetmetal design



شکل 2- ابعاد کلی دستگاه بذرکار. (1) شاسی، (2) موتور و گیربکس بوم، (3) بوم مکشی، (4) نازل بردارنده، (5) لوله‌ی سقوط، (6) نگه‌دارنده لوله سقوط، (7) مخزن ارتعاشی، (8) موتور ویبراتور

Fig.2. Total dimension of seeder. (1) Chassi, (2) Motor and gearbox of boom, (3) Vacuum boom, (4) Pickup nozzle, (5) Seed tube, (6) Seed tube holder, (7) Vibrating hopper, (8) Vibrating motor

فاصله‌ی نازل‌های مکنده از یکدیگر به اندازه‌ی فاصله‌ی بین مراکز دو سلول مجاور در سینی نشاء است. تعداد این نازل‌ها متناسب با تعداد سلول‌های سینی نشاء در عرض یا طول آن است که در این دستگاه به‌دلیل استفاده از سینی 15×7 سلولی و سینی 15×26، تعداد نازل‌ها 15 عدد و متناسب با طول سینی نشاء 105 سلولی و عرض سینی نشاء 390 سلولی انتخاب گردید (شکل 2).

به‌منظور عدم تغییر تعداد نازل‌ها بر روی بوم مکشی برای دو نوع سینی متفاوت، سینی نشاء 105 سلولی به‌صورت طولی و سینی نشاء 390 سلولی به‌صورت عرضی در زیر بوم قرار می‌گیرد. در این صورت می‌توان با تعویض نگه‌دارنده‌ی لوله‌ی سقوط در نزدیکی سینی، نوع سینی کشت شونده را تغییر داد. بوم مکشی پس از برداشتن بذور از داخل مخزن باید آن‌ها را در لوله‌های سقوط قرار دهد، بنابراین یک حرکت دورانی برای حرکت بوم در نظر گرفته شد (شکل 2). حداکثر میزان دوران بوم مکشی حول محور اصلی برای انتقال بذور از مخزن به لوله‌های سقوط بین 20-30 deg است. وزن بوم مکشی 1/8 kg بوده و فاصله‌ی مرکز ثقل آن از محور دوران 26 mm است که این فاصله با در نظر گرفتن جنس هر یک از قطعات آن، در نرم‌افزار Catia محاسبه شد. با توجه به شکل 2 که نیروی وزن وارد به بوم مکشی را از نمای پهلوی نشان می‌دهد می‌توان گشتاور وارد به محور اصلی را با اعمال ضریب اطمینان n=2 از رابطه‌ی (1) در بیشینه‌ی

زاویه‌ی حرکتی (30 deg) به‌دست آورد:

$$T = n.mg.d = n.mg.d_1 Sin30 = \frac{2 \times mg.d_1}{2} = 1.8 \times 9.81 \times 0.026 = 46 Ncm \quad (1)$$

که در آن:

T: گشتاور وارد بر محور بوم (Ncm)، mg: وزن بوم (N)، d: فاصله‌ی افقی مرکز ثقل بوم تا محور دوران (m) و d_1: فاصله‌ی مرکز ثقل بوم تا محور دوران (m).

با توجه به گشتاور به‌دست آمده و امکانات موجود در بازار، از یک موتور گیربکس الکتریکی 12V، 10 rpm مدل ZGA 25 با حداقل گشتاور 50 Ncm استفاده گردید. زمان دوران بوم از مخزن به لوله‌های سقوط با احتساب زاویه‌ی دوران 30 deg برای بوم و با توجه به نسبت 1 به 1 بین چرخدنده‌ی سر موتور و چرخدنده‌ی بوم از رابطه‌ی (2) محاسبه می‌گردد:

$$10rpm \times \frac{360 \deg}{60s} = 60 \deg s^{-1} \Rightarrow t = \frac{30 \deg}{60} = 0.5s \quad (2)$$

محدوده‌ی دامنه‌ی حرکتی بوم مکشی توسط دو میکروسوئیچ غلتکی محدودکننده‌ی حرکت نصب شده بر روی شاسی دستگاه کنترل می‌شود. با برخورد بوم به هر یک از میکرو سوئیچ‌ها، فرمان لازم جهت فرآیند بعدی به میکروکنترلر ارسال شده و مدار میکروکنترلر عمل کنترل خودکار و هماهنگ را انجام می‌دهد. با راه اندازی سامانه‌ی پنوماتیک و دوران بوم مکنده، بذور از داخل مخزن مکیده شده و به داخل لوله‌های سقوط منتقل شده و این لوله‌ها هر یک از بذور برداشته شده توسط نازل‌ها را به داخل سلول‌های سینی نشاء هدایت می‌کند. قطر لوله‌ی سقوط به گونه‌ای انتخاب شد که علاوه بر عدم غلطش و بازی بذر درون آن، بذور در محدوده‌ی قطری 5 mm - 0/8 به راحتی از آن عبور کنند (Srivastava, 2006).

طراحی و ساخت کفی متحرک

پس از انتقال بذور توسط لوله‌های سقوط و قرارگیری آن‌ها در یک ردیف از سلول‌های سینی نشاء، لازم است تا بذور در ردیف‌های دیگر سینی نشاء نیز قرار گیرد، به همین منظور سینی نشاء بر روی کفی متحرکی از ورق فولادی به ضخامت 2 mm که لبه‌های آن به اندازه‌ی 20 mm خم شده و طول آن برابر با 550 mm است و نیز در دو طرف آن ریل تلسکوپی از جنس فولاد ضد زنگ نصب گردیده، قرار گرفته است. برای حرکت کفی متحرک، یک چرخدنده شانه‌ای در زیر آن متصل گردید که به واسطه‌ی آن کفی متحرک در راستای طولی دستگاه حرکت می‌کند. گشتاور مورد نیاز برای موتور محرک کفی متحرک با در نظر گرفتن اصطکاک ریل‌های جانبی متصل به آن محاسبه می‌گردد. وزن کفی متحرک ساخته شده و ریل‌های متصل به آن 6/8 kg است که باید با وزن سینی نشاء پر شده از خاک 1/5 kg جمع شود. از رابطه‌ی (3) نیروی اصطکاک کل برای کفی متحرک محاسبه می‌گردد:

$$F_f = (m_1 + m_2).g.\mu = (6.8 + 1.5) \times 9.81 \times 0.02 = 1.63N \quad (3)$$

که در آن:

m_1: جرم کفی متحرک (kg)، m_2: جرم سینی نشاء با خاک (kg) و μ=0/02: ضریب اصطکاک ریل‌ها (Koyo, 2013).

پس از محاسبه‌ی نیروی اصطکاک کل وارد بر کفی متحرک، با در نظر گرفتن شعاع 2/5 cm برای چرخدنده‌ی درگیر با شانه و نیز نسبت دور کاهنده‌ی e=3/5 بین چرخدنده‌ی موتور و چرخدنده‌ی درگیر با شانه، می‌توان گشتاور وارد بر موتور را از رابطه‌ی (4) با اعمال ضریب اطمینان n=2 محاسبه نمود.

$$T_m = \frac{n.T_G}{e} = \frac{n.F_f \times 2.5}{3.5} = \frac{2 \times 1.63 \times 2.5}{3.5} \approx 2.35 Ncm \quad (4)$$

که در آن:

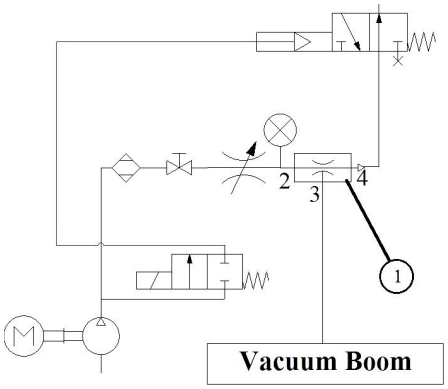
T_m: گشتاور موتور (Ncm)، T_G: گشتاور چرخدنده‌ی درگیر با شانه (Ncm)، n: ضریب اطمینان، e: نسبت سرعت دورانی.

یک استپ موتور 12V DC با گشتاور 30 Ncm و دقت 1/8 deg به همراه جعبه‌دنده‌ی کاهنده‌ی دور مطابق با نسبت ذکر شده، برای حرکت کفی متحرک در زیر آن نصب شد. کورس حرکتی کفی متحرک به گونه‌ای است که به اندازه‌ی فاصله‌ی بین مراکز دو سلول سینی نشاء حرکت کرده و متوقف می‌شود. پس از قرارگیری بذور در یک ردیف سینی، مجدداً به همان اندازه حرکت کرده و متوقف می‌شود. زمان توقف کفی متحرک، در میکروکنترلر به گونه‌ای در نظر گرفته شد که بوم مکنده فرصت مکیدن و انتقال بذور را از مخزن به لوله‌های سقوط داشته باشد.

طراحی و ساخت سامانه‌ی پنوماتیک

این سامانه پنوماتیکی عمل مکیده شدن بذور توسط نازل‌های مکنده و سپس پرتاب بذور به داخل لوله‌های سقوط را انجام می‌دهد. در مدار این سامانه از یک خلأ ساز TBA مدل EV-10 جهت ایجاد مکش استفاده گردید که قادر است در جریان هوای ورودی 44 L min^{-1} فشار خلأ در حدود 0/5 bar تولید کند. همچنین از یک کمپرسور هوای 24 L برای تولید جریان هوا در دستگاه استفاده شد (Goodman, 1997). دو روش برای قرار دادن بذور در لوله‌ی سقوط وجود دارد؛ روش اول مکش بذر توسط نازل و رها نمودن آن در لوله سقوط و روش دوم، مکش بذر و پرتاب آن به داخل لوله سقوط است. مشکل عمده در روش اول این است که ممکن است هنگام مکش بذور پلت شده بخشی از پوسته‌ی آن در داخل نازل فرو رفته و هنگام رها نمودن، بذر از نازل جدا نشده و یا باعث گرفتگی نازل شود؛ بنابراین از روش دوم برای قرار دادن بذور در لوله‌ی سقوط

استفاده شد. مطابق شکل 3 خلأ ساز دارای سه دریچه، ورودی هوا (شماره 2)، مکش (شماره 3) و خروجی باد (شماره 4) است. اگر دریچه‌ی خروجی باد حین کارکرد مسدود شود، جریان مکش قطع شده و جریان هوای خروجی به دهانه‌ی مکش 3 برگشت داده می‌شود. از این خاصیت برای مکش و پرتاب بذور استفاده شد. در این مدار از یک شیر کنترل جهت 3 در 2 با دهانه 1/4 in نرمال باز با تحریک باد، برای قطع جریان خروجی خلأ ساز، جهت پرتاب بذور استفاده گردید که تحریک آن توسط شیر برقی 2 در 2 انجام می‌گیرد. از یک شیر کنترل فشار به همراه تنظیم جریان و یک فشارسنج که فشار موجود در مدار را نشان می‌دهد، استفاده شد که میزان مکش و سرعت پرتاب بذور توسط آن تنظیم می‌گردد (شکل 3) (Goodman, 1997).



شکل 3- مدار پنوماتیک دستگاه بذرکار خودکار پنوماتیک، (1) خلأ ساز، (2) ورودی خلأ ساز، (3) دهانه‌ی مکش، (4) دهانه‌ی خروجی

Fig.3. Pneumatic circuit of automatic pneumatic seeder, (1) Vacuum generator, (2) Inlet of vacuum generator, (3) Vacuum throat, (4) Outlet

وزن هزار دانه‌ی بذر کروی شکل گل اطلسی 5/6 g اندازه‌گیری شد و نیز قطر میانگین آن‌ها 0/9 mm به‌دست آمد. با توجه به شکل 4 و با استفاده از رابطه (5) فشار مورد نیاز در سر هر نازل به‌دست خواهد آمد (Singh *et al.*, 2005):

$$mg = PA \Rightarrow P = \frac{4mg}{\pi d^2} \qquad (5)$$

که در آن:

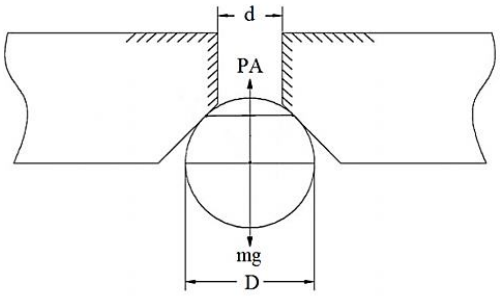
A: مساحت سوراخ نازل (m^2)،

d: قطر سوراخ نازل (m)،

P: فشار در سوراخ نازل (Pa) و

mg: وزن بذر (N) است.

فشار مورد نیاز جهت مکش، 280Pa به‌دست آمد که معادل 0/0028 bar است که برای اطمینان مکش بذور در حال جهش، این مقدار باید افزایش یابد.



شکل 4- بذر کروی شکل در دهانه‌ی نازل مکنده، D: قطر بذر (m)، mg: وزن بذر (N)، d: قطر دهانه نازل (m) و PA نیروی وارده به بذر (Singh *et al.*, 2005) (N).

Fig.4. Spherical seed in orifice of nozzle, D: Seed diameter (m), mg: Seed weight, d: Diameter of orifice n and PA: Exerted force on seed (N) (Singh *et al.*, 2005).

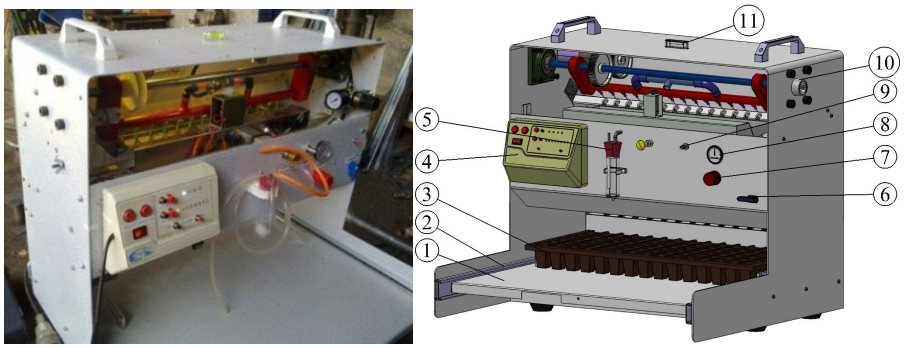
طراحی و ساخت واحد کنترل الکترونیک (ECU[1])

کلیه‌ی عملیات کشت بذر که شامل برداشتن بذور از داخل مخزن بذر، ارتعاش مخزن و حرکت کفی متحرک با دامنه مشخص و توقف آن و نیز زمان فعال شدن شیر برقی پنوماتیک توسط میکروکنترلر AVR ATMega32 کنترل می‌شود. مدار الکترونیک دستگاه شامل موتور 12V مدل Johnson برای ارتعاش مخزن بذر، موتور گیربکس 12V DC، 10 rpm مدل ZGA 25 با گشتاور 50 Ncm جهت حرکت دورانی بوم مکشی، استپ موتور 12V مدل ATED 4H3i با گشتاور 30 Ncm و دقت 1/8 degبرای حرکت کفی متحرک، شیر برقی 220V پنوماتیک شرکت بادران و میکروسوئیچ‌های غلتکی A 5 برای کنترل دامنه حرکت بوم مکشی است. شکل 5 نمای دستگاه ساخته‌شده را نشان می‌دهد.

نتایج و بحث

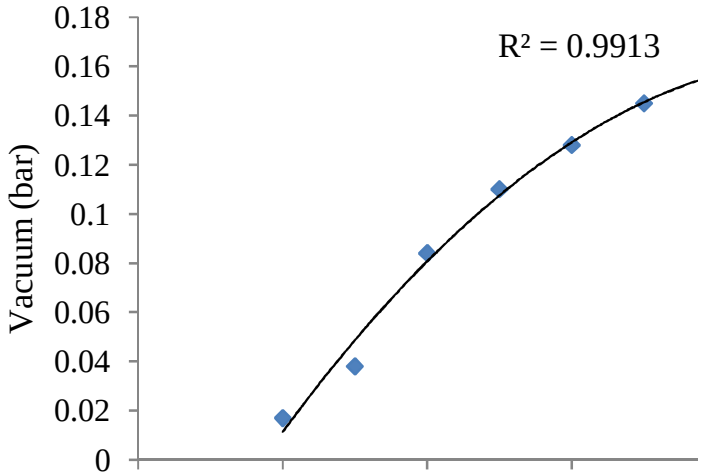
با انجام آزمایش‌های ذکر شده به‌منظور ارزیابی دستگاه، مشخص گردید که فاصله‌ی مناسب نازل از کف مخزن ارتعاشی برای مکش بذور باید به گونه‌ای تنظیم شود که هنگام ارتعاش مخزن، جهش بذور تا نزدیکی نوک نازل‌ها باشد. حالت بهینه فاصله‌ی کف مخزن از نوک نازل‌ها برای بذر گل اطلسی در حدود 3 برابر قطر این بذر بود. فرو رفتن بیش از حد نازل‌ها در بذور باعث برداشتن بیش از یک بذر توسط هر نازل می‌شد. همچنین فاصله‌ی زیاد باعث نرسیدن بذر به نوک نازل می‌شد که در هر دو حالت خطای کاشت افزایش می‌یافت. تنظیم جریان هوا نیز باید به گونه‌ای باشد که هنگام پرتاب بذور به داخل لوله‌های سقوط شدت پرتاب زیاد نباشد تا بذر در داخل سلول مورد نظر بدون بازخورد قرار گیرد.

1- Electronic Control Unit



شکل 5- نمای کامل دستگاه بذرکار خودکار پنوماتیک طراحی شده در نرم‌افزار Catia و دستگاه ساخته شده: (1) کفی متحرک، (2) ریل تلسکوپی، (3) سینی نشاء، (4) واحد کنترل الکترونیک، (5) محفظه جمع‌آوری بذور، (6) شیر اصلی جریان ورودی هوا، (7) شیر کنترل جریان، (8) فشارسنج، (9) تست کننده نازل، (10) تراز طولی، (11) تراز عرضی

Fig.5. Full view of system designed in Catia and the constructed automatic pneumatic seeder: (1) Moveable plate, (2) Telescopic rail, (3) Transplanting tray, (4) Electronic control unit, (5) Seeds gathering chamber, (6) Main valve of inlet air, (7) Flow control valve, (8) Pressure gauge, (9) Nozzle tester, (10) Longitudinal leveler, (11) Lateral Leveler



شکل 6- فشار مکش در دهانه‌ی بوم در برابر فشار ورودی خلأ ساز

Fig.6. Vacuum pressure vs pressure of vacuum generator inlet.

میزان مکش خلأ ساز در برابر فشار ورودی در شکل6 نشان داده شده است. با توجه به فشار محاسبه شده‌ی 0/0028 bar جهت مکش بذر، حالت بهینه تنظیم شیر کنترل جریان برای اطمینان از مکش بذر مورد نظر در حال جهش، در فشار ورودی 2 -1 bar است، زیرا در این محدوده مطابق شکل 6، فشار خلأ از میزان محاسبه شده بیشتر است.

شدت ارتعاش برای نوع بذر مهم است و ارتعاش بیش از حد موجب خرد شدن پوسته‌ی بذور در بذرهای حساس به ضربه مانند بذر مورد آزمون خواهد شد. میانگین زمان مطلوب جهت برداشتن بذور توسط بوم مکشی و قرار دادن آن در لوله سقوط در حدود 2s بود که اندازه‌گیری این زمان برای مشخص نمودن میزان توقف کفی متحرک لازم بود. بنابراین برای اطمینان از قرار گرفتن بذور در سلول‌های سینی، زمان توقف کفی متحرک به اندازه‌ی 2200 ms در میکروکنترلر برنامه‌ریزی شد.

نتایج به‌دست آمده نشان داد که میانگین تعداد بذر کاشته شده در سینی 105 سلولی برابر 103 و برای 390 سلولی برابر با 388/2 است. بنابراین خطای کاشت برای دو نوع سینی به ترتیب برابر با 1/9 و 0/46 درصد است.

نتیجه‌گیری کلی

ارزیابی دستگاه برای بذر گل اطلسی و در دو نوع سینی نشاء 105 و 390 سلولی نشان داد که به طور میانگین خطـا بـرای سـینی 105 سلولی 1/9 درصد و برای سینی 390 سلولی 0/46 درصد است. زمان کاشت سینی 105 سلولی از 20 min توسط کارگر بـه 35 s و بـرای سینی 390 سلولی از 90 min به 160s به وسیله‌ی کاشت با دستگاه، کاهش یافت.

منابع

1. CATIA. 2009. Computer aided three-dimensional interactive application. 3D CAD design software CATIA- Dassult system, Inc.
2. Chen, J. M., C. C. Yu, J. H. Lei, J. M. Yu, and C. F. Chang. 1993. A multipurpose vacuum seed planter for vegetable crops plantings. Agriculture and Forestry 42(1): 1-18.
3. Dong, H., D. Zhang, W. Tang, W. Li, and Z. Li. 2005. Effects of planting system, plant density and flower removal on yield and quality of hybrid seed in cotton. Field Crops Research 93: 74-84.
4. Fischer, U. 2010. Mechanical and metal trades handbook: Verlag Europa-Lehrmittel Nourney, Vollmer.
5. Gaikwad, B. B., and N. P. S. Sirohi. 2008. Design of a low-cost pneumatic seeder for nursery plug trays. Biosystem Engineering 99: 322 - 329.
6. Goodman, R. B. 1997. A primer on pneumatic valves and controls: Krieger Pub.
7. Hanacek, W. A., and P. Bickel. 1984. Singulating seeder for high density plug trays. United states patent: Bud Antle, Inc.
8. Hu, J., J. Hou, and H. Mao. 2003. Development and test of magnetic precision seeder for plug seedlings. Transactions of Chinese Society of Agricultural Engineering 19 (6): 122-125.
9. Kim, D. E., Y. S. Chang, S. H. Kim, and G. I. Lee. 2003. Development of vacuum nozzle seeder for cucuribitaceous seeds (I) design factors for vacuum seeding large sized seeds. Korean Society for Agricultural Machinery 28 (6): 525-530.
10. Koyo. 2013. Friction coefficient of bearings. Available from: http://www.koyousa.com. 20 March 2013.
11. Marr, C. W. 1991. A planting template for plug flats. Horticultural Technology: 120-121.
12. Rathinakumari, A. C., G. S. Kumaran, and S. C. Mandhar. 2005. Design and development of tray type vacuum seeder and tray type. Applied Horticulture 7(1): 49-51
13. Singh, R. C., G. Singh, and D. C. Saraswat. 2005. Optimisation of design and operational parameters of a pneumatic seed metering device for planting cottonseeds. Biosystems Engineering 92 (4): 429-438.
14. Srivastava, A. K. 2006. Engineering principles of agricultural machines: Amer Society of Agricultural.
15. Statistics. 2013. Statistics of flowers and ornamental plants. Available from: http://www.maj.ir. 1 Jan 2013.
16. Thomson, W. T. 1993. Theory of vibration with applications: Prentice Hall.
17. Yalinejad, M., H. 1997. Energy management of greenhouse. Zeytoon 135: 40-43.
18. Zigmanov, P. 1997. Efficiency of machine sowing of vegetable seed into containers. Novi Sad, Yugoslavia: 92.