طراحی و ساخت دستگاه جداکننده بذر به روش الکتروستاتیکی (١٦٤)

محسن بصیری[1] ، علی اسحق بیگی[2]

چکیده

جداسازی یکی از بخش‌های مهم در مجموعه تکنولوژی بذر جهت دستیابی به کیفیت بالای ارقام بذرهای اصلاح شده، محسوب می‌شود. در این تحقیق دستگاه جداکننده الکتروستاتیکی نوع تسمه‌ای طراحی و ساخته شد که با استفاده از خواص الکتریکی بذرها، آنها را درجه‌بندی و ناخالصی‌ها را تا حد زیادی جدا می‌نمود. اجزای تشکیل دهنده دستگاه شامل: منبع ولتاژ بالا با بیشینه ولتاژ تولیدی ١١/٧ کیلو ولت (جریان مستقیم، DC)، مخزن بذر، استوانه باردارکننده بذرها، تسمه جابجاکننده بذرها، الکترود یونیزه کننده، سینی جمع‌آوری بذرها، برس تمیز کننده تسمه نقاله، شاسی دستگاه و موتور الکتریکی بود. بذرها توسط باردارکننده استوانه‌ای و الکترود یونیزه کننده باردار شده و به دلیل نیروی جاذبه الکتریکی بین تسمه و بذرها، به سطح تسمه چسبیده و بر اساس چگالی جدا می‌شدند. بذرهای گندم، جو و کلزا در این آزمایش مورد استفاده قرار گرفتند. ولتاژ و رطوبت مناسب برای حصول بهترین جداسازی در مورد هر بذر تعیین گردید. نتایج نشان داد که استفاده از جداکننده اثر معنی‌داری ($P\leq$٠/٠٥) بر افزایش درجه خلوص و وزن هزار دانه در تمامی بذرها دارد.

کلیدواژه: بذر، جداکننده الکتروستاتیکی، الکترود یونیزه کننده، بارالکتریکی، ولتاژ بالا

١- دانشجوی سابق کارشناسی ارشد مکانیک ماشین‌های کشاورزی، دانشگاه شهرکرد، پست الکترونیک: Mohsenbasiry@yahoo.com
٢- استادیار گروه مکانیک اشین‌های کشاورزی، دانشگاه شهرکرد

۱) مقدمه

تولید دانه، بنیاد کشاورزی اولیه و تمدن‌های بعدی را تشکیل می‌دهد[۱]. کشاورزی بزرگترین کارخانه جهان است، و تولید بذر مهمترین قسمت این کارخانه است. اهمیت بذر فقط برای کشت نیست، بلکه منبع اصلی و ماده خام بسیاری از کارخانه‌ها نیز به حساب می‌آید [۴].

بذرهای جمع‌آوری شده از مزرعه اغلب دارای ناخالصی‌های گوناگونی از قبیل: مواد زاید، بذر علف‌های هرز، ساقه، برگ، بذر-های آسیب دیده و ناقص و بذرهای کوچک می‌باشند. بعضی بذرها با تمیزکردن اولیه به صورت کامل پاک شده و به محصول نهایی تبدیل می‌شوند اما در بعضی دیگر عملیات اضافی برای پاک‌کردن نا خالصی‌ها لازم است [۱۱]. جداسازی یکی از بخش‌های مهم در مجموعه فرآوری بذر جهت دستیابی به کیفیت بالای ارقام بذرهای اصلاح شده، محسوب می‌شود [۱].

۱-۱) جداسازی بذر

قبل از خشک کردن و انبار کردن بذرها، باید آنها را تمیز نمود، به این مرحله در اصطلاح آماده‌سازی بذر نیز گفته می‌شود [۱۱]. اگر بذرها از نظر بعضی خواص فیزیکی با هم اختلاف داشته باشند می‌توان آنها را طی روش‌های مکانیکی یا الکتریکی از هم جدا کرد. چنانچه خصوصیت‌های ظاهری و اندازه این بذرها مشابه به بذر اصلی جمله مشخصات فیزیکی که در جدا سازی بذر مورد استفاده قرار می گیرند عبارتند از: اندازه (طول، عرض و ضخامت)، سختی، شکل، وزن مخصوص، زبری سطحی، رنگ، خصوصیات آیرودینامیکی و سرعت حد، هدایت الکتریکی و خاصیت ارتجاعی. انواع مختلفی از ماشین‌های جداکننده بذر موجود است که از خواص فیزیکی ذکر شده در بالا، به تنهایی یا در ترکیب با هم، برای جداسازی بذر استفاده می‌کنند. این ماشین‌ها شامل: غربال تمیزکننده بادی، غربال سیلندری عمودی، غربال سیلندری افقی، جداکننده پنوماتیکی، جداکننده بذر بر اساس وزن مخصوص، بشقابی کنگره‌دار، سیلندری کنره‌دار، غلتکی مخملی، حلزونی، تسمه‌ای شیب‌دار، بشقابی افقی، مغناطیسی، لرزشی، رنگی، الکتروستاتیکی و جداکننده‌های دیگر می‌باشد [۱۶].

جداکننده‌های مکانیکی، بذرها را بر اساس خواص مکانیکی آنها جدا می‌کنند اما نمی‌توانند بذر علف‌های هرز یا بذر سایر گیاهان را که دارای خصوصیاتی مشابه با بذر اصلی هستند، به خوبی جدا نمایند. به منظور جداسازی موثرتر بذرهای نامطلوب، باید ترکیبی از روش‌های الکتریکی و مکانیکی را به‌کار برد [۵ و۱۳].

یکی از روش‌های جدید در فرآیند جداسازی بذر، استفاده از خصوصیات الکتریکی بذرهاست. این جداکننده‌ها، که جداکننده الکتروستاتیکی نام دارند، از اختلاف در خصوصیات الکتریکی بذرها استفاده می‌کنند و بذرهایی را که با روش‌های معمول دیگر قابل جداسازی نیستند، جدا می‌نمایند.

۱-۲) اصول کار جداکننده‌های لکتروستاتیکی

جداسازی الکتروستاتیکی روشی بر اساس جذب یا دفع متفاوت ذرات باردار، در یک میدان الکتریکی بسیار قوی است. به همین دلیل جداسازی الکتروستاتیکی، جداسازی تنش بالا[1] نیز نامیده می‌شود [۱۴].

پیش از مرحله جداسازی، ذرات باید به روشی باردار شوند تا تحت تاثیر میدان الکتریکی جداکننده قرار گیرند. در جداکننده الکتروستاتیکی از توانایی ذرات در بدست آوردن و نگهداری بار الکتریکی، برای جداسازی آنها استفاده شده است. روش‌های مختلفی برای باردار کردن ذرات مورد استفاده قرار می‌گیرد: ۱) القا در یک رسانا[2]، ۲) بمباران یونی[3] و ۳) باردارکردن مالشی[4]

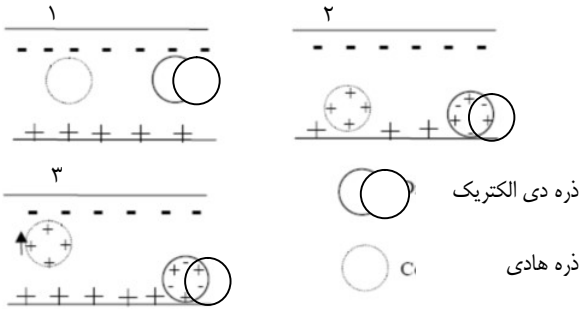
القا در یک رسانا

1 - High Tension Separation
2 - Conductive Induction
3 - Ion Bombardment
4 - Triboelectrification

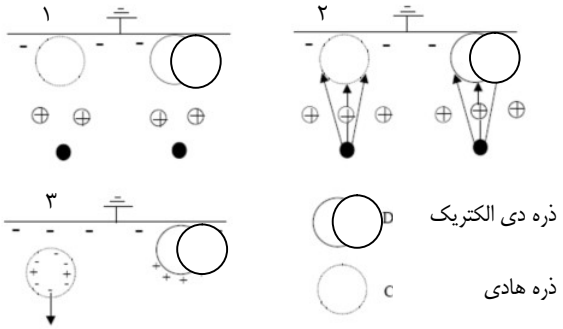
در این فرآیند ذرات بدون باری که در تماس با سطح باردار قرار می‌گیرند ، باری مشابه با سطح باردار پیدا کرده و در نتیجه پتانسیل سطحی پیدا می‌کنند (شکل۱). اگر یک ذره با رسانایی خوب و یک ذره دی‌الکتریک مناسب در تماس با صفحه باردار قرار گیرند، صفحه باردار ذرات هادی را دفع می‌کند درحالیکه ذرات دی‌الکتریک نه جذب صفحه می‌شوند و نه دفع می‌گردند [۶].

بمباران یونی

این روش در باردارکردن ذرات برای جداسازی الکتروستاتیکی بسیار قوی و ساده می‌باشد. در این روش (شکل ۲) ذرات رسانا و نارسانا (دی‌الکتریک) که خصوصیات یکسانی ندارند، بوسیله یون‌های گازهای اتمسفر (که توسط میدان یونیزه کننده ولتاژ بالای[1] ایجاد شده توسط یک الکترود ولتاژ بالا به وجود آمده‌اند) بمباران یونی می‌شوند [۶].



شکل ۱) فرآیند باردارکردن به روش القا در یک رسانا



شکل ۲) فرآیند باردارکردن به روش بمباران یونی

باردارکردن مالشی

در این روش (شکل۳) از تفاوت در ساختمان الکترونیکی سطحی ذرات، استفاده می‌شود. وقتی دو ذره با جنس متفاوت بر روی هم مالش داده شوند، جابجایی الکترون‌ها (بارها) از سطح یکی از ذرات به سطح ذره دیگر رخ می‌دهد. در نتیجه یکی از ذرات بار مثبت و دیگری بار منفی پیدا می‌کند [۸].

شکل ۳) فرآیند باردارکردن به روش باردارکردن مالشی

1 - Corona

مناسب‌ترین روش برای باردار کردن مخلوطی از ذرات که خواص دی‌الکتریک دارد، روش باردارکردن مالشی است [۶ و ۱۰]. اما سریع‌ترین روش باردارکردن، روش بمباران یونی است، اما اغلب دو یا چند فرآیند باردار سازی همراه با هم انجام می‌شوند. به عنوان مثال در جداکننده‌های الکتروستاتیکی هم از بمباران یونی و هم از باردار کردن مالشی استفاده می‌شود [۱۲].

زمانی که ذرات باردار، درون یک میدان الکتریکی قوی قرار می‌گیرند، نیرویی از سوی میدان بر آنها وارد می‌شود. در هر یک از جداکننده‌های الکتروستاتیکی نیروی اولیه جداکننده، از فرمول ۱ محاسبه می‌شود.

$$\vec{F} = \vec{\mathrm{E}}.q \qquad (۱)$$

در این رابطه F نیروی وارد بر ذره، E شدت میدان الکتریکی و q بار ذره است [۲].

همچنین نیروی موجود بین دو جسم باردار از رابطه ۲ محاسبه می‌شود:

$$F = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{qq'}{r^2} \qquad (۲)$$

در این رابطه q و q' بار ذارت و r فاصله بین دو ذره است.

ε_0 که ضریب گذردهی فضای آزاد نامیده می‌شود، مشخص کننده خاصیت محیط است و مقدار آن در هوا برابر است با:

$$\varepsilon_0 = ۸/۸۵۴ \times ۱۰^{-۱۲} \qquad C^2/N\cdot m^2$$

اولین جداکننده الکتروستاتیکی تجاری در سال ۱۸۸۰ توسط توماس اوسبورن[1] به منظور جداسازی کاه و مواد سبک دیگر از آرد گندم، اختراع شد. کریشنان و برلاگ[2] یک جداکننده الکتروستاتیکی تسمه‌ای برای جداسازی قسمتهای گل از بذر پیاز ساختند که شامل مخزن تغذیه، تسمه نقاله رسانا، منبع ولتاژ بالای مستقیم با حداکثر ولتاژ ۲۵ کیلو ولت و ۹۰ μA، یک الکترود میله‌ای شکل و یک سینی چند خانه بود. بذرها توسط الکترود میله‌ای یونیزه می‌شدند و بار خالص مثبت پیدا می‌کردند. بذرهایی که هدایت الکتریکی بیشتری داشتند بار خود را به تسمه منتقل می‌کردند و به علت نبودن نیروی جاذبه، از روی تسمه درون سینی چند خانه می‌افتادند. اما بذرهای دارای هدایت الکتریکی کمتر، به دلیل منتقل نکردن بار، به تسمه چسبیده و همراه با آن می‌چرخیدند و به این ترتیب از بذرهای درشت جدا می‌شدند. بهترین جداسازی در ولتاژ ۱۷ کیلو ولت و سرعت ۰/۲ متر بر ثانیه تسمه نقاله به‌دست آمد [۷]. لاندال[3] و همکاران یک جداکننده الکتروستاتیکی به منظور جداسازی کاه از دانه غلات ساختندکه دارای یک تسمه عایق بود که مخلوط دانه و کاه را از کنار یک الکترود یونیزه کننده عبور می‌داد. الکترود یونیزه کننده باعث یونیزه شدن بذرها و باردار شدن آنها می‌شد. یک استوانه فلزی چرخنده متصل به زمین، در مقابل انتهای تسمه، جایی که مخلوط بذر تخلیه می‌شد، قرار داشت. دانه‌ها به علت چگالی بالاتر، بیشتر تحت تاثیر نیروی وزن و ذرات کاه بیشتر تحت تاثیر نیروی میدان الکتروستاتیکی قرار می‌گرفتند. در نتیجه دانه‌ها تمایل به افتادن روی زمین داشتند و ذرات کاه جذب استوانه می‌شدند. با چرخش استوانه ذرات کاه توسط یک برس کنار زده و از استوانه جدا می‌شدند [۹].

جداکننده‌های الکتروستاتیکی با توجه به روش انتقال مخلوط مواد به درون میدان الکتریکی به چهار دسته الف) جداکننده‌های استوانه‌ای یا تسمه‌ای ب) جداکننده‌های دارای صفحه با شیب ثابت ج) جداکننده‌های دارای صفحه لرزان د) جداکننده‌های دارای جریان مواد به صورت سقوط آزاد تقسیم‌بندی می‌شوند [۱۴].

۲) مواد و روش‌ها

جداکننده ساخته شده در تحقیق حاضر (شکل ۵) از نوع استوانه‌ای (تسمه‌ای) در نظر گرفته شد. این نوع جداکننده نسبت به سایر جداکننده‌ها دارای بازده بالاتری بوده و به همین دلیل در اکثر جداکننده‌های الکتروستاتیکی، چه در مورد فلزات و چه مواد غیر فلزی و بذرها ، به طور گسترده‌ای مورد استفاده قرار می‌گیرد [۳]. اجزای تشکیل دهنده دستگاه عبارتند از:

1 - Thomas Osborne
2 - Krishnan and Berlage
3 - Lundahl

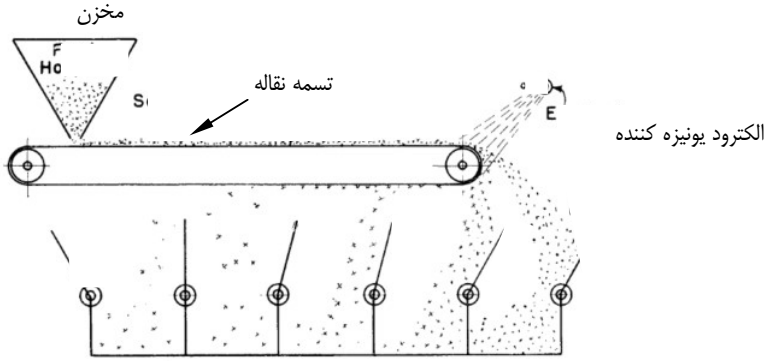
منبع ولتاژ بالا (جریان مستقیم، DC) ، مخزن بذر، استوانه باردارکننده بذرها، تسمه جابجاکننده بذرها، الکترود یونیزه کننده، سینی جمع‌آوری بذرها، برس تمیز کننده تسمه نقاله، شاسی دستگاه و موتور الکتریکی.

برای تولید ولتاژ بالا، یک ترانسفورماتور ولتاژ بالای DC[1] با ولتاژ اسمی ۱۰ کیلو ولت مورد استفاده قرار گرفت. بیشینه ولتاژ تولیدی این ترانسفورماتور ۱۱/۷ کیلو ولت، حداکثر جریان خروجی ۲/۵ میلی آمپر و ولتاژ ورودی آن ۲۲۰ ولت بود. میزان ولتاژ خروجی به صورت عددی روی صفحه نمایشگر دستگاه نشان داده می‌شد.

استوانه باردار کننده شامل یک پیچ ارشمیدس (هلیس[2]) گردان فولادی بود که درون یک استوانه پلی‌اتیلنی می‌چرخید (شکل ۵). این هلیس به قطب مثبت منبع ولتاژ بالا متصل بود. دور لوله پلی اتیلنی چندین حلقه ورق گالوانیزه قرار داشت که همگی به خروجی منفی منبع تولید ولتاژ متصل شده بودند. بنابراین یک میدان الکتریکی قوی بین هلیس و حلقه‌ها بوجود می‌آمد. بذرهایی که وارد لوله می‌شدند در اثر مالش با لوله پلی اتیلنی مقداری بار مالشی بدست آورده و همچنین در اثر تماس با هلیس، که دارای بار مثبت بود، از طریق القا باردار می‌شدند. بذرهای خارج شده از باردار کننده روی تسمه نقاله ریخته و از طریق آن به درون میدان الکتریکی ایجاد شده توسط الکترود یونیزه‌کننده منتقل می‌شدند. این تسمه نقاله نیروی خود را از یک موتور الکتریکی دریافت و با سرعت خطی ۰/۲ متر در ثانیه حرکت می‌کرد.

شکل ۵) استوانه باردارکننده و هلیس گردان(سمت راست) و نمای کلی دستگاه(سمت چپ)

به منظور باردار شدن کامل‌تر بذرها از یک الکترود یونیزه کننده استفاده شد. کار این الکترود، یونیزه کردن هوا و در نتیجه باردار کردن بذرها به روش بمباران یونی بود. بذرهای باردار به سطح تسمه چسبیده و همراه با آن حرکت کرده تا زمانی که بار خود را از دست داده و درون سینی بیافتند. فرآیند جداسازی در شکل (۶) نشان داده شده است. در زیر تسمه نقاله نیز یک سینی ۵ خانه قرار داشت که بذرها درون آن می‌ریختند.



شکل ٦) نحوه جداسازی در جداکننده تروستاتیکی

بذرهای مورد آزمایش

- Germany 1- HV NETZGERAT 0- 10 kV- PHYWE
2- Helix

بذرهای مورد آزمایش در این تحقیق شامل: گندم، جو و کلزا بودند. تمامی این بذرها در سالهای ۱۳۸۵- ۱۳۸۶ از مزارع کشاورزی شهرکرد برداشت شده بود. قبل از انجام آزمایش، رطوبت و درجه خلوص بذرها تعیین و ثابت دی‌الکتریکی آنها از جداول و استانداردهای ASAE استخراج شد [۳]، زیرا میزان نیروی الکتریکی که به بذرها وارد می‌شود به طور مستقیم با میزان ثابت دی-الکتریک آنها در ارتباط است. با افزایش رطوبت فضاهای پر از آب بین عناصر مواد ظاهر می‌شود. به دلیل حرکت چرخشی بیشتر ملکول‌های آب، جذب بیشتر امواج الکتریکی و افزایش ثابت دی‌الکتریکی رخ می‌دهد [۱۵]. بنابراین هر چه میزان رطوبت بالاتر باشد ثابت دی‌الکتریک نیز بالاتر و در نتیجه نیروی الکتریکی وارد بر ذره کمتر خواهد شد.

نرخ تغذیه بذر

قبل از انجام آزمایش، نرخ تغذیه مناسب برای هر نوع بذر تعیین گردید. در این جداکننده به دلیل ثابت بودن سرعت خطی تسمه و سرعت دورانی هلیس باردار کننده، تنها راه تغییر نرخ تغذیه، تنظیم دریچه خروجی مخزن بود.

تعیین ولتاژ و رطوبت مناسب برای بذرها

چنانچه ولتاژ اعمال شده در الکترود یونیزه کننده زیاد باشد، بذرها بار زیادی بدست می‌آورند و ممکن است بذرهای سالم و درشت وارد قسمت بذرهای پوک و مواد زاید شوند و اگر ولتاژ اعمال شده کم باشد بذرها و مواد زاید به اندازه کافی باردار نمی‌شوند و ناخالصی‌ها و بذرهای پوک وسبک وارد قسمت بذرهای درشت و سالم می‌گردند. به منظور تعیین تاثیر میزان رطوبت بذرها بر میزان جداسازی دو سطح رطوبتی برای تمام بذرها در نظر گرفته شد. این دو سطح رطوبتی شامل الف) رطوبت اولیه بذر و ب) ۱۰٪ بیشتر از رطوبت اولیه، بودند.

عملیات جداسازی بذرها در سه ولتاژ و دو رطوبت مختلف انجام گرفت. درجه خلوص و وزن هزار دانه بذرها در خانه‌های مختلف سینی، تعیین و با یکدیگر مقایسه آماری شد. آزمایش به‌صورت فاکتوریل بر پایه طرح کاملا تصادفی و با سه تکرار انجام شد. داده‌ها توسط نرم‌افزار آماری MINITAB تجزیه و تحلیل شد. مقایسات میانگین تیمارها با نرم‌افزار MSTATC انجام گرفت و اختلاف آنها با استفاده از آزمون دانکن در سطح احتمال $\alpha = ۰/۰۵$ بررسی شد. ولتاژ و رطوبتی که بیشترین درجه خلوص را در پی داشتند به عنوان ولتاژ و رطوبت بهینه انتخاب گردید.

۳) نتایج و بحث

قبل از انجام آزمایش درجه خلوص، رطوبت اولیه، وزن هزار دانه و ثابت دی‌الکتریک بذرها مطابق جدول (۱) تعیین گردید. همچنین نرخ تغذیه به اندازه‌ای تعیین گردید که هنگام کار فقط یک لایه بذر بر روی تسمه قرار گیرد (جدول ۲).

جدول ۱) مشخصات اولیه بذرها

ویژگی‌ها	کلزا	جو	گندم
رطوبت اولیه٪	٪۳/۷	٪۶/۵	٪۶/۷
درجه خلوص٪	٪۶۷/۸	٪۷۲/۱	٪۵۹/۲
وزن هزار دانه(گرم)	۳/۷	۳۷	۳۹
ثابت دی‌الکتریک	۳/۵	۴	۴/۱
کلزا	۲۱	۳/۷	۱۱

جدول ۲) ولتاژ، رطوبت و نرخ تغذیه مناسب بدست آمده برای بذرهای مختلف

نوع بذر	نرخ تغذیه مناسب (kg/hr)	رطوبت مناسب(%)	ولتاژ بهینه(kV)
گندم	۳۲	۶/۷	۱۱/۵
جو	۳۰	۶/۵	۱۱/۵

تعیین ولتاژ و رطوبت مناسب برای هر بذر

هنگام جداسازی با رطوبت اولیه، بذرهایی که توسط باردار کننده استوانه‌ای و الکترود یونیزه کننده بار مثبت به‌دست آورده بودند، در اثر جاذبه الکتریکی به سطح تسمه می‌چسبیدند. بذرهای درشت و سالم به دلیل داشتن رطوبت بالاتر نسبت به بذرهای پوک، دارای هدایت الکتریکی بیشتری بودند. به همین دلیل بذرهای سالم و توپر راحت‌تر و زودتر بار خود را به تسمه داده و درون خانه ابتدایی سینی جمع آوری مواد می‌افتادند، اما بذرهای سبک، پوک و کاه‌ها به دلیل رطوبت پایین‌تر و در نتیجه هدایت الکتریکی کمتر، بار خود را دیرتر از دست داده و به تسمه می‌چسبیدند تا جایی که به تدریج بار خود را از دست داده و درون سینی می‌افتادند. بعد از اضافه نمودن ۱۰٪ رطوبت اضافی، هیچ‌گونه جداسازی انجام نگرفت و تمامی بذرها درون خانه شماره یک ریختند. علت این امر افزایش هدایت الکتریکی بذرها در اثر اضافه نمودن رطوبت بود که باعث می‌شد بذرها به مانند یک ذره هادی بار خود را به تسمه منتقل کرده، خنثی گردند و در نتیجه تحت تاثیر میدان الکتریکی جداکننده قرار نگیرند.

در تمامی آزمایش‌ها، درجه خلوص و وزن هزار دانه خانه اول با افز یش ولتاژ افزایش نشان داد؛ زیرا میزان بار بذرها و در نتیجه نیروی جاذبه بین بذر و تسمه افزایش یافت. نتایج حاصل از تجزیه واریانس مربوط به گندم نشان داد که اثر ولتاژ، رطوبت و اثر متقابل ولتاژ و رطوبت بر درجه خلوص و وزن هزار دانه خانه اول در سطح احتمال ۰/۰۱ معنی‌دار شدند. همچنین تیمار رطوبت اثر معنی‌داری ($P\leq$۰/۰۱) بر درجه خلوص و وزن هزار دانه خانه دوم داشت (جدول ۳).

اثرات متقابل ولتاژ و رطوبت در گندم (جدول ۴) نشان داد که درجه خلوص و وزن هزار دانه خانه اول در ولتاژ ۱۱/۵ کیلو ولت و رطوبت ۶/۷ درصد به ترتیب با میاز ین ۹۲ درصد و ۴۲/۵۳ گرم بیشترین مقدار و در تمامی ولتاژها و رطوبت ۱۶/۷ درصد با میانگین ۵۹/۲ درصد کمترین مقدار را داراست، زیرا در رطوبت ۱۶/۷ درصد جداسازی صورت نگرفت. ولتاژ ۸/۵ کیلو ولت و رطوبت ۶/۷ درصد با میانگین ۶۳ درصد بیشترین و رطوبت‌های ۱۶/۷ درصد با میانگین صفر درصد، دارای کمترین درجه خلوص در خانه دوم بودند. کمترین وزن هزار دانه در خانه دوم نیز در رطوبت‌های ۱۶/۷ درصد با میانگین صفرگرم به‌دست آمد.

جدول ۳) میانگین مربعات صفات مورد اندازه‌گیری در گندم برای خانه‌های اول و دوم

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات			
		درجه خلوص خانه اول	درجه خلوص خانه دوم	وزن هزار دانه خانه اول	وزن هزار دانه خانه دوم
ولتاژ	۲	۱۴۰/۲**	۱۹/۵ ns	۸/۶**	۴/۸ ns
رطوبت	۱	۲۳۹۶/۶۹**	**۱۵۶۷۰/۴	۳/۴۷**	۵۶۹۹/۶**
ولتاژ×رطوبت	۲	۱۴۰/۲**	۱۹/۵ ns	۸/۶**	۴/۸ ns
خطا	۱۲	۲/۳۷	۵/۸	۰/۵۶۸	۱/۵
کل	۱۷				

* و** به ترتیب معنی دار در سطوح ۵ و ۱ درصد و ns غیر معنی دار

جدول ٤) مقایسه میانگین اثر متقابل ولتاژ و رطوبت در گندم

ولتاژ (kV) × رطوبت (٪)	درجه خلوص خانه اول(درصد)	درجه خلوص خانه دوم(درصد)	وزن هزار دانه خانه اول(گرم)	وزن هزار دانه خانه دوم(گرم)
٪۶/۷×۸/۵	۷۲/۶۷^{c}	۶۳^{a}	۳۷/۸۷^{b}	۳۴/۸۷^{b}
٪۱۶/۷×۸/۵	۵۹/۲^{d}	۰^{c}	۳۹^{b}	۰^{c}
٪۶/۷×۱۰	۸۲/۱۷^{b}	۵۸/۰۳^{b}	۳۹/۲۳^{b}	۳۷/۶۳^{a}
٪۱۶/۷×۱۰	۵۹/۲^{d}	۰^{c}	۳۹^{b}	۰^{c}
٪۶/۷×۱۱/۵	۹۲^{a}	۵۶^{b}	۴۲/۵۳^{a}	۳۴/۲۷^{b}
٪۱۶/۷×۱۱/۵	۵۹/۲^{d}	۰^{c}	۳۹^{b}	۰^{c}

میانگین‌ها با آزمون دانکن مقایسه گردیده است. میانگین‌های دارای حروف غیر مشابه در هر ستون، اختلاف معنی‌داری در سطح ۰/۰۵ دارند.

با توجه به مقادیر بدست آمده از جدول مقایسه میانگین بهترین ولتاژ و رطوبت برای دستیابی به حداکثر درجه خلوص و وزن هزار دانه در خانه اول، ولتاژ ۱۱/۵ کیلو ولت در رطوبت ۶/۷ درصد بود که در این شرایط میانگین درجه خلوص گندم ۳۳٪ نسبت به بذرهای اولیه افزایش نشان داد.

با توجه به جدول تجزیه واریانس مربوط به جو (جدول ۵) اثر ولتاژ، رطوبت و اثر متقابل ولتاژ در رطوبت در سطح احتمال یک درصد برای درجه خلوص خانه اول و دوم در مورد جو معنی‌دار شدند. همچنین تیمار رطوبت در سطح آماری یک درصد برای وزن هزار دانه خانه اول و دوم معنی‌دار گردید.

همچنین مقایسات میانگین اثر متقابل ولتاژ و رطوبت در جو (جدول ۶) نشان داد که با افزایش ولتاژ درجه خلوص خانه اول نیز افزایش می‌یابد. درجه خلوص خانه اول در ولتاژ ۱۱/۵ کیلو ولت و رطوبت ۶/۵ درصد با میانگین ۹۳/۷۴ درصد بیشترین مقدار و در ولتاژهای مختلف و رطوبت ۱۶/۵ درصد با میانگین ۷۲/۱ درصد دارای کمترین مقدار بود. نتایج بدست آمده از جدول مقایسه میانگین نشان داد که بهترین ولتاژ و رطوبت برای دستیابی به حداکثر درجه خلوص و وزن هزار دانه در خانه اول، ولتاژ ۱۱/۵ کیلو ولت در رطوبت ۶/۵ درصد می‌باشد.

جدول ۵) میانگین مربعات صفات مورد اندازه‌گیری در جو برای خانه‌های اول و دوم

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات			
		درجه خلوص خانه اول	درجه خلوص خانه دوم	وزن هزار دانه خانه اول	وزن هزار دانه خانه دوم
ولتاژ	۲	۱۵۳/۱۷**	۹۴/۱ **	۰/۹۷۸ ns	۲/۵ ns
رطوبت	۱	۴۷۵/۶۶**	۱۹۷۴۰/۸**	۱۱۸/۸۸**	۵۲۲۲/۴**
ولتاژ×رطوبت	۲	۱۵۳/۲**	۹۴/۱۸**	۰/۹۷۸ ns	۲/۵ ns
خطا	۱۲	۵/۹	۴/۰	۱/۱۳	۱/۶
کل	۱۷				

* و** به ترتیب معنی دار در سطوح ۵ و ۱ درصد و ns غیر معنی دار

جدول ٦) مقایسه میانگین اثر متقابل ولتاژ و رطوبت در جو

ولتاژ (kV) × رطوبت (٪)	درجه خلوص خانه اول(درصد)	درجه خلوص خانه دوم(درصد)	وزن هزار دانه خانه اول(گرم)	وزن هزار دانه خانه دوم(گرم)
٪۶/۵×۸/۵	^{c}۷۴/۴	^{b}۶۲/۷۳	^{a}۴۲/۸۳	^{a}۳۳/۵
٪۱۶/۵×۸/۵	^{c}۷۲/۱	^{c}.	^{b}۳۷	^{b}.
٪۶/۵×۱۰	^{b}۷۹	^{b}۶۰/۶۷	^{a}۴۱/۲۵	^{a}۳۳
٪۱۶/۵×۱۰	^{c}۷۲/۱	^{c}.	^{b}۳۷	^{b}.
٪۶/۵×۱۱/۵	^{a}۹۳/۷۴	^{a}۷۵/۳	^{a}۴۲/۳۳	^{a}۳۳/۷
٪۱۶/۵×۱۱/۵	^{c}۷۲/۱	^{c}.	^{b}۳۷	^{b}.

میانگین‌ها با آزمون دانکن مقایسه گردیده است. میانگین‌های دارای حروف غیر مشابه در هر ستون، اختلاف معنی‌داری در سطح ۰/۰۵ دارند.

مطابق جدول تجزیه واریانس کلزا (جدول ۷)، تنها رطوبت و اثر متقابل ولتاژ و رطوبت در مورد وزن هزار دانه خانه دوم معنی‌دار نشدند. نتایج مقایسات میانگین اثر متقابل ولتاژ و رطوبت در کلزا (جدول ۸)، نشان داد که بهترین شرایط برای جداسازی کلزا، ولتاژ ۱۰ کیلو ولت و رطوبت ۳/۷ درصد می‌باشد که دارای بیشترین درجه خلوص و وزن هزار دانه در خانه اول می‌باشد.

مقایسه ولتاژهای به‌دست آمده با ثابت دی‌الکتریک بذرها نشان داد که بذرهای دارای ثابت دی‌الکتریک بیشتر به ولتاژهای بالاتری برای جداشدن نیاز دارند زیرا نیروی جاذبه بین تسمه و بذر با افزایش ثابت دی‌الکتریک کاهش می‌یابد و برای جداسازی مطلوب در این بذرها لازم است که میزان ولتاژ و درنتیجه بار بذرها را افزایش داد تا نیروی جاذبه بین تسمه و بذر افزایش یابد.

مقایسه ولتاژ به‌دست آمده برای بذرهای مختلف نشان داد که هر چه میزان رطوبت داخلی و ثابت دی‌الکتریک بذر پایین‌تر باشد، ولتاژ مورد نیاز نیز پایین‌تر است به نحوی که بیشترین ولتاژ مربوط به گندم و جو و کمترین ولتاژ مربوط به کلزا بود.

جدول ۷) میانگین مربعات صفات مورد اندازه‌گیری در کلزا برای خانه‌های اول و دوم

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات			
		درجه خلوص خانه اول	درجه خلوص خانه دوم	وزن هزار دانه خانه اول	وزن هزار دانه خانه دوم
ولتاژ	۲	۱۷/۶۷**	۱۲۱/۳ **	۱/۸**	۰/۲ ns
رطوبت	۱	۲۳۳۷/۰**	**۲۰۲۹۱/۷	۹۴/۷۶**	۵۳۴۹/۲**
ولتاژ×رطوبت	۲	۱۷/۶۷**	۱۲۱/۳**	۱/۸**	۰/۲ ns
خطا	۱۲	۰/۵۸	۱/۸	۰/۰۶۸	۰/۳
کل	۱۷				

* و** به ترتیب معنی دار در سطوح ۵ و ۱ درصد و ns غیر معنی دار

جدول ۸) مقایسه میانگین اثر متقابل ولتاژ و رطوبت در کلزا

ولتاژ (kV) × رطوبت (٪)	درجه خلوص خانه اول(درصد)	درجه خلوص خانه دوم(درصد)	وزن هزار دانه خانه اول(گرم)	وزن هزار دانه خانه دوم(گرم)
٪۳/۷×۹	^{c}۸۷/۸۳	^{b}۶۱/۲۳	^{b}۴/۰۸	^{a}۳/۴۷
٪۱۳/۷×۹	^{d}۶۷/۸	^{c}.	^{c}۳/۷	^{b}.
٪۳/۷×۱۰	^{a}۹۴/۴۳	^{a}۷۷/۵	^{a}۴/۲۱	^{a}۳/۴۷
٪۱۳/۷×۱۰	^{d}۶۷/۸	^{c}.	^{c}۳/۷	^{b}.
٪۳/۷×۱۱	^{b}۸۹/۵	^{b}۶۲/۷۲	^{b}۴/۱۲	^{a}۳/۴
٪۱۳/۷×۱۱	^{d}۶۷/۸	^{c}.	^{c}۳/۷	^{b}.

میانگین‌ها با آزمون دانکن مقایسه گردیده است. میانگین‌های دارای حروف غیر مشابه در هر ستون، اختلاف معنی‌داری در سطح ۰/۰۵ دارند.

٤) نتیجه‌گیری

- جداکننده الکتروستاتیکی ساخته شده قادر است بذرهای پوک و نا خالصی‌ها را تا حد زیادی از انواع بذرهای ریز جدا نماید.
- به منظور جداسازی مناسب بذرهایی که ثابت دی‌الکتریک بالاتری دارند، ولتاژ بالاتری لازم است.
- با افزایش رطوبت، ولتاژ مورد نیاز برای جداسازی مناسب نیز افز یش می‌یابد.
- با افزایش ۱۰درصدی رطوبت هیچگونه جداسازی انجام نمی‌شود.

٥) پیشنهادها

- با استفاده از یک منبع ولتاژ با ولتاژهای بالاتر، می‌توان فرآیند جداسازی‌ها را بهتر و دقیق‌تر مورد بررسی داد.
- با توجه به اینکه نرخ تغذیه و سرعت تسمه اثر بسیار زیادی بر عملکرد دستگاه دارد، توصیه می‌شود سرعت دورانی باردارکننده استوانه‌ای و سرعت خطی تسمه قابل تنظیم باشد.
- ممکن است استفاده از دو الکترود یونیزه کننده به صورت همزمان، میزان باردارشدن و در نتیجه میزان جداسازی را افزایش دهد. در این حالت می‌توان بذرهای درشت‌تر و دارای چگالی بالا مانند ذرت را نیز به این روش جدا نمود.
- بهتر است فرآیند جداسازی در رطوبت‌های دیگری نیز انجام و ولتاژ مناسب در رطوبت‌های دیگر نیز تعیین گردد.

٦) فهرست منابع

[۱]. سرمدنیا، غ. (۱۳۷۶). *تکنولوژی بذر*. انتشارات جهاد دانشگاه مشهد.

[۲]. حیدری، م. و س، زینی‌زاده. (۱۳۸۱). الکتریسیته و مغناطیس. جلد اول. انتشارات قائم.

Dielectric Properties of Grain and Seed. D293.2 [3]. Anonymous. ASAE Standards. (2000). DEC99. 548-558.

[4]. Harmond, J., R. Brandenburg, and M. Klein. (1968). *Mechanical Seed Cleaning and Handling*. Agricultural Handbook No: 334. Washington D.C. Agricultural Research Service, U.S. Department of Agriculture in Cooperation with Oregon Agricultural Experiment Station.

[5]. Kazimirchuk, D. A. and V. X. Xziretdinov. (1995). Dielectric Equipment for Grading and Cleaning of Seeds. *Sugar-beet.* **6**: 12-13.

[6]. Knoll, F. S. and J. B. Taylor. (1984). Advanced in Electrostatic Separation. *SME Preprint*. **21**: 84-71.

[7]. Krishnan, P. and A. G. Berlage. (1985). Electrostatic Separation of Flower Paerts from Onion Seeds. *Trans of the ASAE*. **28(5)**: 1676- 1679.

. Seed Divisibility Criteria During Electrical Separation.)1984([8]. Leonov, V. S. *Mekhanizasiya I Elektrifikatsiya Sotsialistcheskogo Sel skogo Khozyiastv*. **4**: 47- 49.

[9]. Lundahl, E. (2001). *Electrostatic Separation of Chaff from Grain*. US Patent, us 6225587B1.

[10]. Mazumder, A. k. and K. B. Tennal. (1994). Electrostatic Beneficiation of Coal. Proc. The *10th Annual Coal Preparation, Utilization and Environmental Control Contractors Conference*. Pittsburgh. 18-21.

Miller, B. McDonald, and Lawrence Copeland. (1997). *Seed Production: Principles and* [11]. *Practices*. International Thomson Publishing. New York.

[12]. Niels, Jonassen, (2005). Useful Static Electricity. *Mr. Static*. **4**: 65-69.

[13]. Pozeliene, A. and S. Lynikiene. (1998). Special Cleaning of Seeds on the Cylindrical Electroseparator. *Agricultural Techniques*. **35(5)**: 6-9.

O. C, (1961). *Electrostatic Separation of Mixed Granular Solids*. Elsevier. [14]. Ralston, Amsterdam.

[15]. Terabelsi, S. and S. O. Nelson. (2003). Microwave Dielectric Properties Measurement Technicues and Applications. *Transaction of the ASAE*. **42(2)**: 523-529.

[16]. Vaughan, C and J. Delouche. (1967). *Seed Processing and Handling*. Missury Agricultural press. USA. Handbook.

Abstract

Separation is one of the important sections of the seed technology in order to gain the purified seed with high quality. In this research, a belt type of an electrostatic separator machine designed and constructed which used electrical properties of the seeds to graded them and remove the impurities. The constituents of this machine are high voltage supply with the maximum voltage of 11.7 kW (DC), feed hopper, seed charging drum, conveyor belt, ionizing electrode, ellipse electrode, seed collecting tray, conveyer belt cleaning brash the chassis of the machine and the electromotor. The seeds charged by the drum charger and Ionizing electrode and are stuck to the belt because of electrical attraction, which exists between seeds and belt, and then separated based on their density. In this experiment, we used different seeds like wheat, barley and canola. In order to get to the best separation process, suitable voltage and humidity specified for each seed. The results showed that using electrostatic separator had a significant effect ($p \leq 0/05$) on the degree of purity and 1000- seeds weight in all kinds of seeds.

Keywords: Seed, Electrostatic Separator, Ionizing electrode, High Voltage.