تاثیر ولتاژ بر روی جداسازی ناخالصی‌های خاکشیر به روش تریبوایروالکترواستاتیک

مجتبی افشاری پور[1*]، کاظم جعفری نعیمی[2]، علیرضا گنجویی[3] و محمدعلی پورافشار[4]

۱*. دانشجوی ارشد مکانیک ماشینهای کشاورزی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، afsharipourm@yahoo.com
۲. استادیار بخش مکانیک ماشینهای کشاورزی، دانشگاه شهید باهنر کرمان
۳. استادیار بخش فوتونیک، دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری پیشرفته کرمان
۴. کارشناس آزمایشگاه انرژی های تجدیدپذیر، دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری پیشرفته کرمان

چکیده

به منظور انجام عملیات جداسازی ناخالصی‌های موجود در دانه‌های گیاهی دستگاهی به نام جداساز تریبوایروالکترواستاتیک طراحی و ساخته شد و با اجرای جداسازی دانه‌های خاکشیر از ناخالصی‌های موجود مورد ارزیابی قرار گرفت. مواد اولیه مورد آزمایش با روش بادارکردن مالشی باردار شده و توسط یک قیف تغذیه‌کننده به درون دستگاه تغذیه می‌شوند و مجدداً در قسمت فوقانی دستگاه در هنگام عبور از میدان الکتریکی قوی باردار می‌شوند سپس در قسمت تحتانی تحت ترکیبی از نیروهای گرانش، ایرودینامیک و نیروی برق از هم جدا می‌شوند. برای ارزیابی دستگاه تاثیر فاکتور ولتاژ در سه سطح ۲۰، ۳۰ و ۴۰ کیلوولت و با سه تکرار به اجرا گذاشته شد. وزن چهار خانه جعبه جمع‌آوری مواد اندازه‌گیری شد. نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌های به دست-آمده نشان داد که تاثیر ولتاژ اعمالی به الکترودها بر روی وزن هر چهار خانه جمع‌آوری مواد جداشده در سطح ۱ درصد معنی‌دار است. با افزایش ولتاژ اعمالی بهترین خلوص با بالاترین وزن در خانه شماره ۱ و بالاترین میزان ناخالصی از نظر کیفیت و کمیت در خانه شماره ۴ با ولتاژ ۴۰ کیلوولت به دست آمد.

واژه های کلیدی: تریبوایروالکترواستاتیک، جداسازی، میدان الکتریکی، ولتاژ

مقدمه

خاکشیر[1] از خانواده شب بو[2]، گیاهی علفی و دارای ساقه‌ای به ارتفاع متغیر ۰/۲ تا یک متر، یک ساله و با دانه‌های ریزتقریباً به اندازه دانه خشخاش به رنگ قرمز و دارای لعاب فراوان، دراواخرتابستان می‌رسند (زرگری، ۱۳۷۶). دانه خاکشیر، ریز و به رنگ زردتیره یا قهوه‌ای روشن است و سطحی ناصاف به شکل بیضی کشیده دارد که یک رأس آن بریده و دارای حلقه‌ای قهوه ای رنگ و شفاف است. گیاه خاکشیر از نظرجغرافیایی درایران در نواحی شمال (آمل)، غرب (تبریز و سنندج)، جنوب (کرمان و شیراز)، نواحی مرکزی (یزد، کرج و تهران) یافت می‌شود (Shkohinejad, 1997).

[1] - Descurainiasophia
[2] -Cruciferae

محصولات کشاورزی جمع‌آوری شده از مزرعه اغلب دارای ناخالصی‌های گوناگونی از قبیل: مواد زاید، بذر علف‌های هرز، ساقه، برگ، بذرهای آسیب‌دیده و ناقص و بذرهای کوچک می‌باشند (Miller and Lawrence, 1997). جداسازی یکی از بخش‌های مهم در مجموعه فرآوری بذر جهت دستیابی به کیفیت بالای ارقام بذرهای اصلاح‌شده محسوب می‌شود (سرمدنیا، ۱۳۷۶). انواع مختلفی از ماشین‌های جداکننده بذر موجود است که یکی از آن‌ها روش الکتروستاتیکی می‌باشد (Vaughan Delouche, 1967). and جداسازی الکترواستاتیک یک روش اساسی است که یک دسته مهم از فرایندهای تکنولوژیکی مواد را برای طبقه‌بندی مخلوط‌های دانه دانه شده میسر می‌سازد که توسط نیروی الکتریکی بر روی ذرات باردار شده استفاده می‌شود که بر اساس تفاوت در نوع هدایت الکتریکی می‌باشد (Ralston, 1961; Brands *et al.*, 2001). جداسازی الکتروستاتیکی بر اساس جذب یا دفع متفاوت ذرات باردار در یک میدان الکتریکی بسیار قوی عمل می‌کند. به همین علت جداسازی الکتروستاتیکی را جداسازی تنش بالا[3] نیز می‌نامند (Ralston, 1961).

قبل از انجام عمل جداسازی باید ذرات 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. از جداکننده نوع سقوط آزاد برای طبقه‌بندی مخلوط‌های حاوی ذرات نارسانا- نارسانا مثل PE و PVC استفاده می‌شود (Tilmatine *et al.*, 2009).

برای جداکردن ذرات نارسانا ازیکدیگر از جداساز تماسی و جهت جداسازی ذرات رسانا ازذرات نارسانا ازجداساز القایی استفاده می‌شود. نوع دیگر جداساز موسوم به جداساز الکترودینامیک وجود دارد که برای جداسازی ذرات نارسانا و رسانا مناسب است. این جداساز با استفاده از پاشیدن بارالکتریکی روی ذرات ازراه ایجاد هاله الکتریکی کار می‌کند. در نوع تریبوایروالکترواستاتیک[4] از روش سقوط آزاد توام با باد استفاده می‌شود. تریبوالکترواستاتیک یک پدیده فیزیکی شامل انتقال شارژ بین دو جسم در تماس است. مکانیسم شارژ اصلی بکار رفته برای جدایش دانه‌های جداشده در یک میدان الکتریکی قوی می‌باشد در واقع به پدیده ایجاد بار ساکن از طریق تماس و مالش، پدیده تریبوالکتریک می‌گویند. عوامل مؤثر در میزان بار تولیدشده دراین پدیده عبارت ازسطح تماس، سرعت مالش،رطوبت نسبی محیط ونوع مواد می‌باشد (Leonov, 1984).

در مطالعات صورت گرفته بر روی مقالات متعدد در رابطه با جداسازی الکترواستاتیکی از ولتاژ بالا[5] (در حدود ۵۰-۱۵ کیلوولت) و شدت جریان پایین بسته به مواد اولیه استفاده گردیده است.

جداسازی ABS و ABS-PC از ضایعات الکتریکی و تجهیزات الکترونیکی با دستگاه تریبوایروالکترواستاتیک بررسی شده است. به این صورت که مواد دانه شده در اتاق‌های تریبو شارژ شده و سپس در مقابل لوله متصل به دمنده هوا عبور داده می‌شوند و میزان

3 - High Tension Separation
4-Tribo-aero-electrostatic
5-high voltage

هوا به وسیله یک توربودمنده با سرعت متغیرتولید می‌شود تنظیم می‌گردد. دانه‌ها به وسیله فناوری ایجادشده، در بستر معلق‌شده توسط هوای صعودی پراکنده می‌گردند به طوری که دانه‌ها به دو صورت برخوردهایی دارند، برخورد ذره با ذره و ذره با دیواره. در این حالت دانه‌ها فرصت کافی برای قرار گرفتن در تریبوشارژ را پیدا می‌کنند سپس دمش هوا قطع شده و دو الکترودی که انرژی خود را از دو مولد با ولتاژ بالای DC می‌گیرند دارای بار مخالف شده و بنابراین دانه‌ها پس از باردارشدن جذب آن‌ها می‌شوند. پس ازروشن و خاموش شدن مولد ولتاژ بالا، این ذرات از الکترودها جداشده و درجعبه جمع‌آوری ریخته می‌شوند. در نهایت جرم تولیدات به وسیله یک ترازوی دیجیتالی با دقت ۰/۰۰۱گرم اندازه‌گیری و تجزیه تحلیل می‌گردد(Dascalescu *et al.*, 2010).

ثابت شده است که شبیه‌سازی عددی ابزار قدرتمندی در تحقیق و توسعه فرآیندهای جدید الکترواستاتیک است. مدل ریاضی فرض می‌کند که احتمال جدا شدن دانه‌ها از هم می تواند به عنوان یک تابع ازتعدادی از اثرات دانه متعلق به نوع دیگر مواد را بیان کند. در هر یک از جداکننده‌های الکتروستاتیکی نیروی اولیه جداکننده، از معادله ۱ محاسبه می‌شود. در این معادله F نیروی وارد بر ذره، E شدت میدان الکتریکی و q بار ذره است (حیدری و زینی‌زاده، ۱۳۸۱).

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

E با توجه به معادله ۲ با ولتاژ (v) رابطه مستقیم دارد.

$$E \propto \frac{V}{d} \qquad (۲)$$

نیروهایی که به یک جسم در حال سقوط در میدان الکتریکی وارد می‌شود عبارتند ازنیروی الکتریکی F_e و دیگری نیروی گرانشی F_g. این نیروها که به ترتیب درجهات افقی و قائم اثر می‌کنند عبارتند از:

$$F_e = qE = 4\pi r^2 \sigma E \qquad (۳)$$

$$F_g = mg = \frac{4}{3}\pi r^3 \rho g \qquad (۴)$$

که درآن‌ها r شعاع، q بارالکتریکی، σ چگالی بارسطحی، ρ جرم مخصوص و g شتاب جاذبه ثقل است. ازتقسیم معادله (۳) بر (۴) نتیجه می شود:

$$\frac{F_e}{F_g} = \frac{3\sigma E}{r\rho g} \qquad (۵)$$

نسبت ذکر شده در معادله شماره (۵) عامل مهمی درجداسازی مالشی است (Moore, 1973). هدف از این تحقیق بررسی تاثیر ولتاژ اعمالی به دستگاه بر روی میزان جداسازی دانه‌های خاکشیر از ناخالصی‌های موجود می‌باشد.

مواد و روش ها

در این پژوهش خاکشیر مورد نظر از دشت‌های موجود در منطقه هفت باغ کرمان تهیه گردید. مواد اولیه مورد آزمایش به منظور حذف ناخالصی‌های درشت موجود در آن، ابتدا از الک آزمایشگاهی با مش شماره ۱۶ عبور داده شد. سپس مواد جمع‌آوری شده به نمونه‌های یک کیلوگرمی تقسیم شدند. با توجه به اینکه جداسازی این دانه‌ها به این علت که شکل‌هایی شبیه هم دارند یا چگالی جرمی آن‌ها مثل هم بوده، توسط روش‌های مکانیکی غیرممکن است، از روش الکترواستاتیک با استفاده از یک دستگاه ابتکاری برای جدایش الکترواستاتیکی نمونه مورد نظر استفاده گردید. ابتدا برای باردار شدن اولیه در یک ظرف پلاستیکی به مدت یک دقیقه هم زده شدند این دانه‌ها پس از اینکه توسط یک قیف تغذیه‌کننده به درون دستگاه شارژ می‌شوند، تحت ترکیبی از نیروهای گرانش، ایرودینامیک و نیروی برق از هم جدا می‌شوند. میدان الکتریکی با اعمال ولتاژ بر روی الکترودهای موجود در دستگاه ایجاد می‌گردد. قطب مثبت به یک الکترود و قطب منفی به الکترود دیگر متصل می‌باشد. شدت میدان الکتریکی با توجه به ثابت بودن فاصله دو الکترود، با تغییر ولتاژ توسط دستگاه منبع تغذیه مدل OL 8000/104 که در شکل ۱ نشان داده شده است تغییر می‌کند. مشخصات این دستگاه در جدول ۱ آورده شده است. همچنین منبع تغذیه DC با ولتاژ قابل تنظیم تا ۱۰۰ کیلوولت می‌باشد.

شکل ۱. نمایی از دستگاه منبع تغذیه استفاده شده

این آزمایش جداسازی در سه سطح ولتاژ ۲۰، ۳۰ و ۴۰ کیلوولت انجام گرفت و در هر مرتبه وزن هریک از خانه‌های محل جمع-آوری مواد جداشده اندازه‌گیری شد (تمامی اندازه گیری های مربوط به وزن با ترازویی با دقت ۰/۰۱ گرم انجام شد). در نهایت نیز آنالیز داده‌ها با استفاده از نرم افزار SAS 9.1.3 انجام شد و همچنین آزمون مقایسه میانگین‌ها به روش دانکن در ولتاژهای مختلف بر روی وزن هر یک از خانه ها انجام شد (کلیه آزمایشات در آزمایشگاه فوتونیک مرکز بین المللی علوم، تحقیقات و تکنولوژی پیشرفته و علوم محیطی کرمان انجام شد).

جدول ۱. مشخصات دستگاه منبع تغذیه استفاده شده

ولتاژ ورودی	برق سه فاز ۲۰۸v با فرکانس ۴۸~۶۲ هرتز
جریان ورودی	حداکثر ۳۴ آمپر در هر فاز
رگولاسیون ورودی	در صورت تغییر ۱۰ درصد در **ولتاژ ورودی حداکثر تغییرات در ولتاژ خروجی** ۰/۲ درصد است.
رگولاسیون بار	در صورت تغییر بین ۰ تا ۸۸ **میلی آمپر در جریان خروجی حداکثر تغییرات ولتاژ** ۰/۰۵ درصد است.
ریپل	کمتر از ۰/۱۴ درصد
دمای محیط کار	۰ تا ۴۰ درجه سانتیگراد
رطوبت محیط کار	حداکثر ۸۵ درصد

نتایج و بحث

بعد از انجام آزمایشات مربوطه که در قسمت مواد و روش‌ها به تفصیل **در مورد آن توضیح داده شد، داده**های حاصل از آزمایشات ثبت و **مورد تجزیه و** تحلیل قرار گرفت. به این صورت که در سه سطح ولتاژ ۲۰، ۳۰ و ۴۰ کیلوولت اعمالی به دستگاه، میزان جدایش مواد در **هریک از خانه**های شماره ۱ تا ۴ جعبه جمع آوری کننده (شکل ۲)، با اندازه‌گیری وزن مواد موجود محاسبه شد. میانگین داده**های مربوط به متغیرهای اندازه**گیری شده و نتایج تجزیه واریانس آن**ها به ترتیب در جدول**های ۲ و ۳ درج گردیده است. شکل ۲ **وزن مواد داخل هر خانه را تحت تاثیر ولتاژهای مختلف نشان می‌دهد.**

شکل ۲. جعبه جمع آوری کننده مواد جداسازی شده با چهار تقسیم بندی

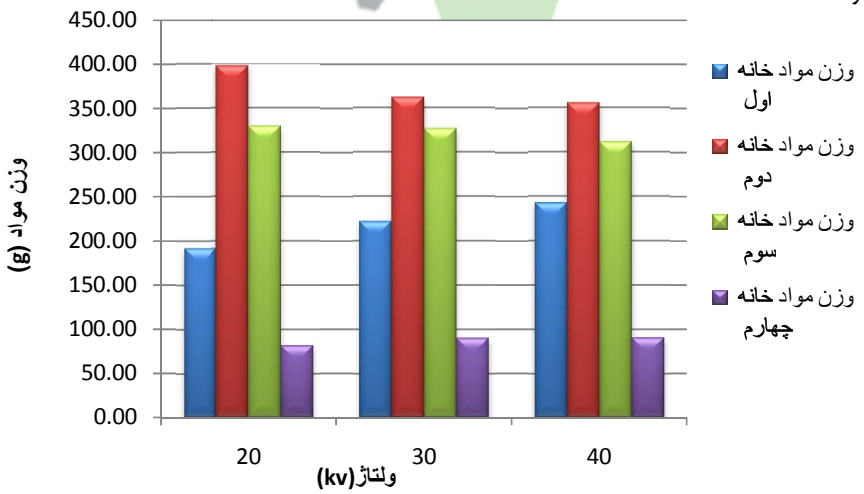
نتایج مربوط به **تجزیه و تحلیل داده**ها (جدول ۲) **حاکی از آن است که فاکتور ولتاژ بر وزن کلیه** خانه‌ها معنی‌دار می‌باشد. به طوری **که با افزایش ولتاژ، میانگین وزن خانه شماره** ۱ **که مواد جمع شده در آن از خلوص بسیار بالایی برخوردارند،** افزایش می‌یابد در حالی که **وزن مواد درون خانه شماره** ۲ کاهش یافته است که **این پدیده امری کاملاً عادی و قابل پیش**بینی است زیرا که با

افزایش ولتاژ، دانه‌های بیشتری به سمت الکترود مثبت دستگاه حرکت می‌نماید در نتیجه از وزن خانه شماره ۲ کاسته شده و به وزن خانه شماره ۱ افزوده می‌شود. به عبارت دیگر حداکثر بودن میانگین وزن خانه شماره ۱ در ولتاژ ۴۰ نشان می‌دهد که شدت میدان ایجاد شده در این ولتاژ بیشتر است زیرا مطابق با معادله ۲ شدت میدان و ولتاژ با یکدیگر رابطه مستقیم دارند. همچنین طبق معادله ۱ و ۵ نیروی اعمالی به دانه‌ها با افزایش شدت میدان، بیشتر می شود. بنابراین در این ولتاژ وزن دانه‌های جداشده از ناخالصی‌ها نسبت به سایر ولتاژها بیشتر می‌باشد که شکل ۳ نیز تایید کننده این مطلب است.

جدول ۲. میانگین مربوط به متغیرهای اندازه‌گیری شده در سه ولتاژ

پارامترهای اندازه‌گیری شده	ولتاژ اعمالی (کیلوولت)		
	۲۰	۳۰	۴۰
میانگین وزن خانه شماره ۱ (گرم)	۱۹۱/۴۱c	۲۲۱/۷۸b	۲۴۲/۸۱a
میانگین وزن خانه شماره ۲ (گرم)	۳۹۷/۵۶a	۳۶۱/۷۸b	۳۵۵/۴۴c
میانگین وزن خانه شماره ۳ (گرم)	۳۲۹/۴۸a	۳۲۶/۵۶a	۳۱۱/۳۰b
میانگین وزن خانه شماره ۴ (گرم)	۸۱/۶۷b	۹۰/۰۷a	۹۰/۴۸a

وزن مواد در خانه شماره ۳ با افزایش ولتاژ، کاهش می‌یابد که با توجه به بیشتر بودن چگالی جرمی دانه‌ها نسبت به ناخالصی‌ها و اینکه هدف، جداسازی بیشتر دانه‌ها در خانه شماره ۱ می‌باشد لذا ولتاژ ۴۰ کیلوولت برای این خانه بهینه است زیرا هر چند که در این ولتاژ میانگین وزن مواد جداشده کمتر از ولتاژ ۳۰ کیلوولت می‌باشد اما میزان مواد ناخالص بیشتر می‌باشد. در خانه شماره ۴ با افزایش ولتاژ، میانگین وزن مواد بیشتر شده است زیرا افزایش ولتاژ سبب منحرف شدن ناخالصی‌های بیشتری به سمت الکترود منفی می‌شود.



شکل ۳. تاثیر ولتاژ بر روی وزن هریک از خانه ها

ها

جدول ۳- تجزیه واریانس تغییرهای اندازه‌گیری شده

منابع تغییرات	درجه آزادی	وزن خانه شماره ۱(g)		وزن خانه شماره ۲(g)		وزن خانه شماره ۳(g)		وزن خانه شماره ۴(g)	
		میانگین مربعات	F	میانگین مربعات	F	میانگین مربعات	F	میانگین مربعات	F
تکرار	۲	۶۰/۵۹	۱/۰۵ ns	۱۲/۴۸	۰/۳۳ ns	۷۸/۴۸	۲/۰۱ ns	۱۴/۸۱	۱/۳۷ ns.
ولتاژ	۲	۱۷۰۲۸/۴۸	۳۲۰/۲۳**	۱۶۰۱/۳۷	۴۲/۱۲**	۱۱۵۴۵/۴۸	۲۹۵/۵۵**	۳۴۴/۹۲۱	۳۱/۸۹**

*در سطح ۵ درصد معنی‌دار گردیده است. ** در سطح ۱ درصد معنی‌دار گردیده است. ns معنی‌دار نگردیده است.

تجزیه و تحلیل داده‌ها (جدول ۳) حاکی از آن است که فاکتور ولتاژ بر روی وزن اندازه‌گیری شده در تمامی خانه‌های شماره ۱ تا ۴ معنی‌دار می‌باشد. به طوری که با افزایش ولتاژ، وزن مواد در خانه شماره ۱ و ۴ افزایش یافت و وزن مواد در خانه شماره ۲ و ۳ کاهش می‌یابد. همچنین اثر تکرار بر هیچ کدام از پارامترهای اندازه‌گیری شده معنی‌دار نمی‌باشد.

نتیجه گیری

در این ارزیابی با استفاده از یک دستگاه ابتکاری برای جدایش الکترواستاتیکی ناخالصی‌های خاکشیر استفاده گردید. تاثیر ولتاژ در سه سطح ۲۰، ۳۰ و ۴۰ کیلوولت بر پارامترهای عملکرد دستگاه مورد بررسی قرار گرفت. در محدوده ولتاژهای بررسی شده ولتاژ ۴۰ کیلوولت بالاترین وزن و بهترین خلوص را در خانه شماره ۱ و بالاترین میزان ناخالصی از نظر کیفیت و کمیت را در خانه شماره ۴ دارا می‌باشد. اثر تکرار بر هیچ کدام از پارامترهای اندازه‌گیری شده معنی‌دار نمی‌باشد همچنین فاکتور ولتاژ بر روی وزن اندازه‌گیری شده در تمامی خانه‌های شماره ۱ تا ۴ معنی‌دار می‌باشد.

منابع

۱- حیدری، م.، و زینی‌زاده، س. ۱۳۸۱. الکتریسیته و مغناطیس. انتشارات قائم. جلد اول.

۲- زرگری، ع. ۱۳۷۶. گیاهان دارویی. انتشارات دانشگاه تهران. جلداول، چاپ هفتم. ص ۲۱۴–۲۱۳.

۳- سرمدنیا، غ. ۱۳۷۶. تکنولوژی بذر. انتشارات جهاد دانشگاه مشهد.

4- Brands, L., P.M. Beier, and I. Stahl. 2001. Electrostatic Separation.Ullmann'sEncyclopedia of Industrial Chemistry. Wiley-VCH Verlag, USA.

5- Dascalescu, L., O. Fati, C. Dragan, M. Radu, L. Calin, and A. Samuila. 2010. Tribo-aero-electrostatic Separation of ABS and ABS-PCfrom Granular Waste Electric and Electronic Equipment.

6- Leonov, V. S. 1984. Divisibility Criteria During Electrical Separation. 4**:** 47-49.

7- Miller, B., M. McDonald, and L. Copeland. 1997. Seed Production: Principles and Practices. International Thomson Publishing, New York.

8- Ralston, O. C. 1961. Electrostatic Separation of Mixed Granular Solids. Elsevier, Amsterdam.

9- Shkohinejad, H. 1997. Cure Garden. Boostan Publication. 78-95.

10- Tilmatine, A., K. Medles, S-E. Bendimerad, F. Boukholda, and L.Dascalescu. 2009. Electrostatic separators of particles: Application to plastic/metal, metal/metal and plastic/plastic mixtures. Waste Management. 29: 228–232.

11- Vaughan, C., and J. Delouche. 1967. Seed Processing and Handling. Missury Agricultural press, USA.

The effect of voltage on the separation of impurities sisymbrium irio Tribo-aero-electrostatic method

Mojtaba Afsharipour [1*] Kazem Jafari-Naimi [2] Alireza Ganjov [3] and Mohammadali Pourafshar [4]

1-MSc Student, Department of Agricultural Mechanics Engineering, shahid Bahonar University of Kerman afsharipourm@yahoo.com

2- Assistant Professor, Department of Agricultural Mechanics Engineering, shahid Bahonar University of Kerman

3- Assistant Professor, Department of Photonics, Graduate University of Technology and Advanced Technology of Kerman

4-Expert on Renewable Energy Laboratory Graduate University of Technology and Advanced Technology of Kerman

Abstract

In order to perform the separation of impurities in the plant's seeds were designed and made a machine called Tribo-aero-electrostatic isolation and separation of the impurities from sisymbrium irio were evaluated. charge with friction ingredients tested by a hopper feeder are fed into the machine and again become charge when passing a strong electric field in the upper part of the device then at the bottom of the combinations of gravitational forces , aerodynamics and power are separated. To assess the system, the effect of voltage factor in three levels of 20, 30 and 40 kV was carried out with three replicates. Weight was measured four boxes of materials collected. ANOVA results showed that the effect of the applied voltage to the electrodes on the total weight of all four boxes assemble materials isolated is significant at 1%. By increasing the applied voltage the best purity with the highest weight in the box 1 and the highest levels of quality and quantity of impurities in the box 4 was obtained with level of 40 kV.

Keyword: Tribo-aero-electrostatic, separation, electric field, voltage.