بررسی امکان جداسازی ناخن به عنوان ناخالصی از کلاله زعفران خشک به روش الکترواستاتیک

وحید بنی هاشم[۱]، محمد حسین عباسپورفرد[۲]، محمد حسین آق خانی[۲]
۱. کارشناس ارشد و دانشجوی سابق رشته مکانیک ماشین های کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد
vahid_banihashem2002@yahoo.com
۲. اعضای هیات علمی گروه ماشین های کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد

چکیده:

زعفران از جمله گیاهانی است که از نظر اقتصادی به دلیل ارزش کلاله آن مورد توجه فراوان قرار گرفته است. برای بررسی امکان جداسازی ناخالصیهای احتمالی موجود در زعفران، ناخن به عنوان نمونه انتخاب گردید و برای انجام آزمایشات، دستگاهی ساخته شد که مبنای آن علم الکترواستاتیک بود. این دستگاه متشکل از یک منبع تغذیه DC، برد تشدیدکننده ولتاژ، صفحات مسی یا همان الکترودها، واحد باردهی و جعبه های جداکننده است. اساس کار آن اختلاف در ماهیت دی الکتریک یا جذب بار الکتریکی دو جنس متفاوت می باشد. نتایج حاصله از آزمایشات این دستگاه، امکان خالص سازی ناخن را به میزان ۷۶/۲ درصد نشان داد. شایان ذکر است که این نتایج در ولتاژ، فاصله الکترودها و زمان باردهی بهینه یعنی به ترتیب ۱۲کیلوولت، ۲۰ سانتیمتر و ۱۲۰ ثانیه صورت گرفت. با این وجود توصیه می شود با توجه به پایین بودن درجه خاص سازی زعفران با روش باردار کردن مالشی، روش های دیگر باردار کردن مخلوط زعفران و ناخن نیز بمنظور بهبود فرایند جداسازی مورد بررسی قرار گیرد.

کلمات کلیدی: زعفران پوشال، الکترواستاتیک، جداسازی

مقدمه

زعفران گیاهی است چند ساله، دارای پیاز کوچک، تقریبا کروی و پوشیده شده از غشای قهوه ای رنگ است. ارتفاع قسمت هوایی و بیرونی گیاه حدود ۱۰تا ۳۰ سانتی متر است و دارای ساقه و تعدادی برگ های باریک است. از وسط برگ ها، ساقه تولید شده و گل خارج می شود و در ماه های مهر تا آذر گل ها به تعداد یک تا سه عدد روی هر ساقه ظاهر می شوند .گل ها به رنگ بنفش و دارای شش گلبرگ هستند. قسمت مورد استفاده گیاه که به نام زعفران در بازار تجارت موجود است، انتهای خامه و کلاله گل (مادگی) است که به رنگ قرمز متمایل به نارنجی است (دینی، ۱۳۸٤).

سرزمین پهناور ایران قطعا بزرگترین تولید کننده زعفران جهان است و به دلیل دارا بودن تنوع آب و هوایی، بسیاری از محصولات باغی و زراعی از جمله زعفران آن، دارای بالاترین درجه کیفیت می‌باشد. زعفران در بسیاری از استانهای ایران کشت می شود، لیکن بیشترین مقدار زعفران کشور در استان‌های خراسان تولید

می گردد(امیرقاسمی، ۱۳۸۰). زعفران از جمله گیاهانی است که از نظر اقتصادی به دلیل ارزش کلاله آن مورد توجه فراوان قرار گرفته است. ایران با سطح زیر کشتی در حدود ٤١٣٢٥ هکتار و تولید سالیانه ۱۵۰ تا ۱۷۰ تن زعفران، با بیش از ۸۰٪ تولید جهانی، بزرگترین تولید کننده زعفران از نظر کمیت و کیفیت در سطح جهان می‌باشد. بخش عمده زعفران تولیدی ایران به کشورهای مختلف جهان صادر می‌گردد. در دهه اخیر، تعداد کشورهای خریدار زعفران ایران افزایش یافته بطوریکه در سال ۱۳۸۰ این محصول به ٤٣ کشور جهان صادر گردیده است. همچنین میزان صادرات زعفران در دهه اخیر از نظر کمی روند افزایشی قابل توجهی را طی نموده.

افزایش دائمی جمعیت جهان به دنبال خود تقاضای روزافزون به محصولات غذایی و کشاورزی را در بر داشته است. قسمتی از افزایش تولید در طول قرن گذشته را باید حاصل پیشرفت های فن آوری ماشین‌ها و ادوات کشاورزی دانست، چرا که این امر موجب سهولت انجام فرایندهای کشاورزی، افزایش بازده و دقت آن و حتی کاهش هزینه های تولید گردیده است. حال اگر بتوان به گونه ای عملکرد ماشین‌ها را از طریق فرایندهای بهینه سازی افزایش داد، عملکرد نهایی باز هم بهتر و مطلوب تر خواهد شد(شفیعی، ۱۳۷۱).

فرضیه ها:

اجزاء گل زعفران و ناخالصی‌های احتمالی موجود آن، از نظر ماهیتی به دلیل متفاوت بودن جنس اجزاء، با هم متفاوت هستند. تفاوت در قابلیت باردارشدن مثل نوع بار و میزان باردارشدن این اجزاء و سایر ناخالصی‌ها و سپس قرار گرفتن آنها در یک میدان الکتریکی پس از باردارشدن و در نهایت جذب این اجزاء با پتانسیل باری متفاوت و تفکیک و جداسازی آنها در صورت امکان، از فرضیات این پروژه می‌باشد.

اصول کار جداکننده‌های الکتروستاتیکی

جداسازی الکتروستاتیکی روشی بر اساس جذب یا دفع متفاوت ذرات باردار، در یک میدان الکتریکی بسیار قوی است. به همین دلیل جداسازی الکتروستاتیکی، جداسازی فشارقوی[۱] نیز نامیده می‌شود (رالستون، ۱۹٦۱).

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 می شود. روش‌های مختلفی برای باردار کردن ذرات مورد استفاده قرار می‌گیرد: ۱) القا در یک رسانا[۲]، ۲) بمباران یونی[۳] و ۳) باردارکردن مالشی[٤].

مناسب‌ترین روش برای باردار کردن مخلوطی از ذرات که دارای خواص دی‌الکتریک هستند، روش باردارکردن مالشی است (مازومدر و تنال، ۱۹۹٤). اما سریع‌ترین روش باردارکردن، روش بمباران یونی است، اما اغلب دو یا چند فرآیند باردار سازی همراه با هم انجام می‌شوند. به عنوان مثال نلز و جوناسون (۲۰۰۵). در جداکننده‌های الکتروستاتیکی خود هم از بمباران یونی و هم از باردار کردن مالشی استفاده کردند. در سال های اخیر تلاش های زیادی در خصوص استفاده از جداکننده های الکترواستاتیکی برای جدا سازی مواد مختلف صنعتی و کشاورزی

۱- High Tension Separation
۲- Conductive Induction
۳ - Ion Bombardment
٤ – Triboelectrification

صورت گرفته است که به تعدادی از آنها اشاره می گردد. این موارد نشان می دهند که جدا سازی الکترواستاتیکی فرایندی است که روز بروز بیشتر مورد توجه محققین در زمینه های مختلف علوم و تکنولوژی قرار می گیرد.
لئونوف (سال۱۹۸٤) نوعی جداکننده الکتروستاتیکی بذر با یک استوانه دوار از جنس PVC ساخت. تحلیل ها نشان داد که بذرها بر اساس جرم، شکل، خواص سطحی، اندازه و مقدار رطوبت داخلی آنها جدا می شدند. کریشنان و همکاران (سال۱۹۸۵) یک جداکننده الکتروستاتیکی تسمه‌ای برای جداسازی قسمتهای گل از بذر پیاز خوراکی(گونه A. cepa)ساختند که شامل مخزن تغذیه، تسمه نقاله رسانا، منبع ولتاژ بالای مستقیم با حداکثر ولتاژ ۲۵ کیلو ولت و ۹۰ میکروآمپر یک الکترود میله‌ای شکل و یک سینی چند خانه بود. بذرها توسط الکترود میله‌ای یونیزه می‌شدند و بار خالص مثبت پیدا می‌کردند. لاندال (۲۰۰۱) یک جداکننده الکتروستاتیکی به منظور جداسازی کاه از دانه غلات ساخت که دارای یک تسمه عایق بود که مخلوط دانه و کاه را از کنار یک الکترود یونیزه کننده عبور می‌داد. آمان و همکاران (۲۰۰٤)، به بررسی موقعیت و مکان الکترود ولتاژ بالا به عنوان یک عامل موثر در جداسازی الکترواستاتیکی پرداختند. لاکور و همکاران (۲۰۰۵) ، با استفاده از خواص الکترواستاتیکی به تفکیک اجزاء تشکیل دهنده بردهای مدارچاپی پرداختند. کاماتو و سکی (۲۰۰۵)، به مدل‌سازی و بررسی ذرات باردارشده در یک میدان الکتریکی موجی پرداختند. پژوهشهای عددی و عملی روی انتقال ذرات در میدان الکتریکی موجی انجام پذیرفت. برای شبیه‌سازی دینامیک ذرات از یک مدل کره سه بعدی با روش المان مجزا (DEM)[۵]، استفاده شد. ژیائو و همکاران (۲۰۰٦)، با ساخت یک دستگاه جداساز الکترواستاتیکی به تفکیک و بازیافت مخلوط مواد پلاستیکی پرداختند. داری و رائو(۲۰۰۸)، با ساخت یک دستگاه الکترواستاتیکی، به جداسازی خاکستر موجود روی ذغال سنگ پرداخت. کاماتو و آمزو (۲۰۰۸)، از مکانیزمی برای تغذیه کاغذ A4 دستگاه پرینتر و کپی استفاده کردند که متشکل از یک الکترود مدور پوشیده شده با لایه عایق، یک استوانه بارده به صورت مایل در تماس با غلتک جداساز برای باردارکردن لایه عایق، یک الکترود متصل به زمین، منبع تغذیه DC و توده و بسته کاغذ می باشد.

مواد و روشها:

در این پژوهش برای بررسی امکان جداسازی الکترواستاتیکی ناخالصیهای زعفران، دستگاهی ساخته شد که دارای اجزاء ذیل بود:

با توجه به تحقیقات انجام شده در زمینه جداسازهای الکترواستاتیکی مواد مختلف، وجود اقلام ذیل برای طراحی و ساخت دستگاه جداساز الکترواستاتیک، ضروری به‌نظر می‌رسد:

۱. منبع تغذیه جریان مستقیم(DC) با ولتاژ بالا به منظور تامین انرژی و بار الکتریکی مورد نیاز.
۲. برد ولتاژ بالا به منظور تشدید و تامین ولتاژ چند کیلوولتی
۳. دو الکترود یا قطب مثبت و منفی به منظور ایجاد اختلاف پتانسیل و تشکیل میدان الکتریکی قوی.
٤. مکانیزمی برای باردارکردن ذراتی که باید عمل جدا سازی بر روی آنها صورت گیرد.
۵. مکانیزمی برای انتقال و سپس عبور مواد از بین الکترودها به منظور اعمال نیروی الکترواستاتیکی به ذرات جهت جدا سازی آنها.

---

[۵].Distinct Element Method

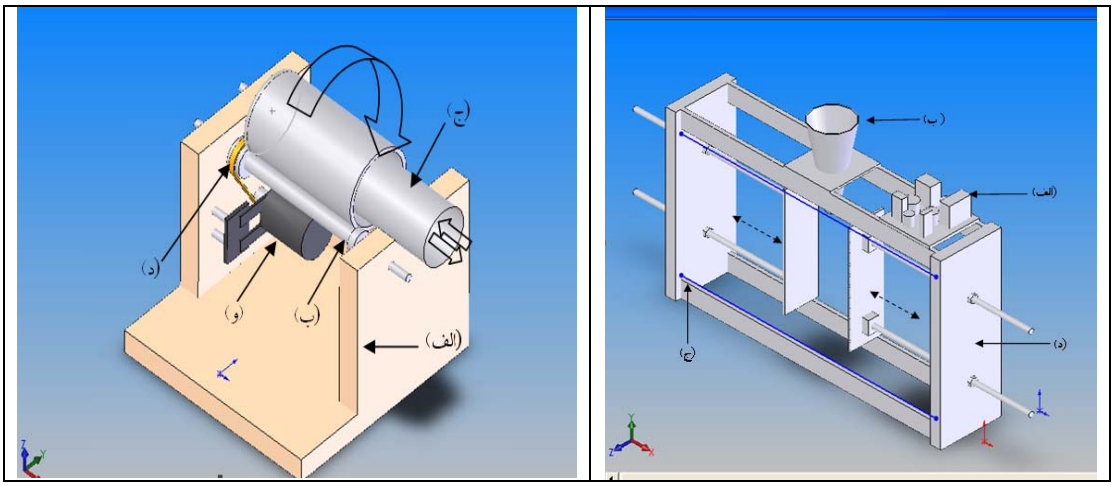
۶. جعبه‌ها و یا قفسه های جمع‌آوری‌کننده ذرات جدا شده.

۷. واسط اندازه گیری ولتاژ بالا و دستگاه مولتی‌متر به منظور اندازه گیری و قرائت ولتاژ بالا.

۸. یک دورسنج یا تاکومتر نوری به منظور اندازه گیری دور در دقیقه واحد باردهی.

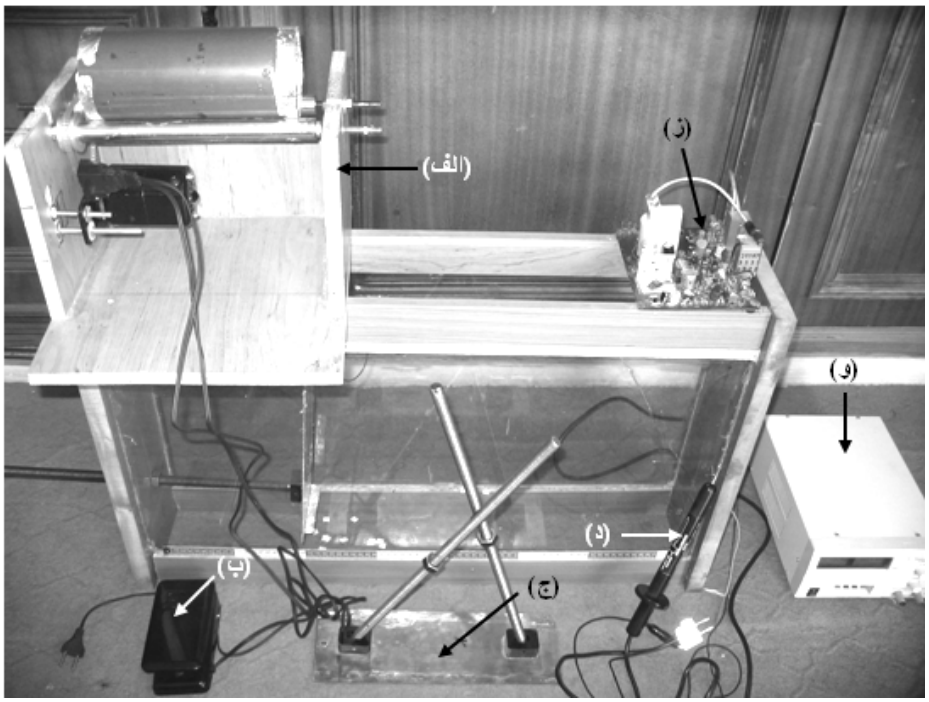
۹. ترازوی دیجیتالی با دقت صدم گرم برای اندازه گیری وزن مواد ورودی به واحد بارده.

۱۰. کاغذهای شاخص: بررسی میزان انحراف مواد تحت تاثیر میدان الکتریکی نیاز به بررسی توزیع درصد مواد در زیر الکترود ها دارد. بنابراین کاغذهایی به عنوان کاغذ شاخص تهیه گردید.



شکل ۱ : نمایی از شاسی دستگاه و اجزاء مختلف آن شامل: سمت راست (الف) برد ولتاژ بالا، (ب) قیف مقوایی برای هدایت و ریزش مواد بین الکترودها، (ج) متر برای اندازه گیری فاصله بین الکترودها، (د) شاسی اصلی دستگاه. سمت چپ قسمتهای مختلف واحد تغذیه و باردهی الکترواستاتیکی

برای انجام این پژوهش از زعفران پوشال (زعفران خشک) و ناخن به عنوان ناخالصی با ۵۰ درصد وزنی در سطوح ولتاژ متفاوت استفاده شد. برای انجام آزمایشات مجموعه ای آزمایشگاهی ساخته و مورد استفاده قرار گرفت که تصاویر شبیه سازی شده دستکاه در شکل۱ و تصویر واقعی دستگاه ساخته شده در شکل۲ نشان داده شده است.



شکل ۲ : نمای کلی دستگاه ساخته شده و قسمتهای مختلف آن (الف) واحد تغذیه مواد، (ب) پدال موتور الکتریکی، (ج) صفحه یا الکترود مسی، (د) پراب ولتاژ بالا، (ه) منبع تغذیه ولتاژ DC ، (و) شاسی اصلی دستگاه، (ز) برد تشدیدکننده ولتاژ

به منظور آزمایش میزان انحراف زعفران و ناخالصی (ناخن) و امکان جداسازی آنها از یکدیگر از زعفران با خلوص ۵۰ درصد وزنی استفاده شد. البته در عمل میزان ناخالصی ناخن در زعفران به مراتب کمتر از این مقدار می باشد. بدین منظور، مقدار ۳ گرم زعفران خالص خشک شده با ۳ گرم ناخن در اندازه های مختلف مخلوط گردید. ابتدا برای پیدا کردن فاصله مناسب و ولتاژ عبوری بهینه آزمایشات برای ولتاژ های ۸، ۱۰، ۱۲ و ١٤ هزار ولت با فاصله الکترود های (فاصله۱) ۱۰، (فاصله۲)۲۰، (فاصله۳)۳۰ و (فاصله٤)٤۰ سانتی متر انجام شد. برای هر آزمایش مخلوط زعفران و ناخالصی مربوطه در استوانه بارده قرار گرفته و به مدت ۱۲۰ ثانیه بار دار شدند. سپس مواد فرود آمده در هر ناحیه بر روی کاغذ های شاخص(نواحی ۱، ۲ و۳ در شکل۳) به تفکیک توسط ترازوی دیجتال وزن شد و بدین وسیله درصد خلوص هر منطقه از کاغذهای شاخص بدست آمد. برای هر آزمایش ۵ تکرار در نظرگرفته شد. تاثیر احتمالی وزن و زمان باردهی به عنوان سایر فاکتورهای مستقل در مرحله بعد به صورت متقابل مورد بررسی قرار گرفت.

نتایج

برای تعیین میزان جداسازی از کاغذ های شاخص مطابق شکل۳ در زیر الکترودها استفاده گردید. آزمایشات مختلف صورت گرفته بر روی تاثیر ولتاژ بین الکترود ها نشان داد که در حد فاصل بین ۸ تا ١٤ کیلو ولت، بیشترین میزان جدا سازی ناخن از زعفران پوشال مربوط به ولتاژ ورودی ۱۲ کیلو ولت می باشد. جدول۱ نتایج مربوط به این آزمایش را نشان می دهد. اعداد این جدول بیانگر میانگین خالص سازی زعفران بر حسب درصد می باشد. با توجه به اینکه میزان اختلاط اولیه زعفران و ناخن بصورت ۵۰ درصد مساوی بوده اند، در نتیجه هرچه اعداد از ۵۰ بزرگتر

و یا نزدیکتر به عدد ۱۰۰ باشند، نشان دهنده خالص سازی بیشتر زعفران است. همانطور که در این جدول ملاحظه می شود بیشترین میزان جدا سازی ناخن از زعفران در حالتی است که ولتاژ اعمال شده به الکترود ها ۱۲ کیلو ولت و فاصله بین الکترود ها ۲۰ ساتی متر (فاصله۲) باشد. در این حالت زعفران به میزان ۷٦/۲ درصد خالص سازی شده است. بنابراین سطح ولتاژ ۱۲ کیلو ولت بعنوان بهترین سطح ولتاژ انتخاب گردید.

شکل ۳ : یک نمونه از وضعیت ریزش مخلوط ناخن و زعفران بر روی کاغذ شاخص مربوط به فاصله ۳۰ سانتی متری و ولتاژ ۱۲کیلو ولت

جدول ۱ : تاثیر ولتاژ و فاصله روی درصد خلوص (مقایسه میانگین ها) برای مخلوط زعفران و ناخن

سطوح فاکتورها	فاصله ۱	فاصله ۲	فاصله ۳	فاصله ٤
۸ کیلو ولت	67.4 ^{b}	72 ^{c}	62.6 ^{a}	60.4 ^{a}
۱۰ کیلو ولت	68.8 ^{b}	73 ^{c}	64.8 ^{a}	63.8 ^{a}
۱۲ کیلو ولت	73.4 ^{c}	76.2 ^{d}	73.4 ^{c}	71.6 ^{c}
١٤ کیلو ولت	73.4 ^{c}	75 ^{d}	73.6 ^{c}	72.8 ^{c}

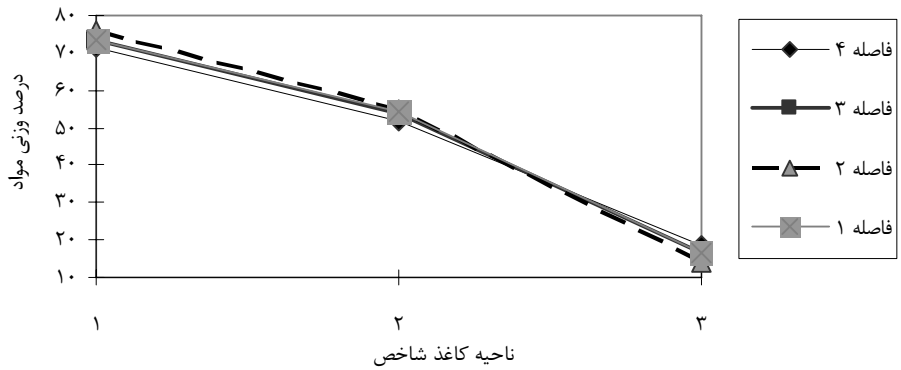
سطوحی که دارای حروف مشترک هستند از نظر آماری دارای اختلاف معنی داری نیستند.

در این سطح ولتاژ (۱۲ کیلو ولت)، بعنوان متغییر دیگر، از فاصله بین الکترودها (همانطور که قبلا اعلام گردید ٤ فاصله مختلف بین ۱۰ تا ٤۰ سانتی متر) استفاده گردید که نتایج این آزمایشات در جدول۲ نشان داده شده است. در این جدول درصد خلوص زعفران بر حسب میانگین، ضریب تغییرات و انحراف از معیار در فواصل مختلف الکترود ها و در هر مورد در نواحی سه گانه زیر واحد جداساز نشان داده شده است. اعداد نشان داده شده در این جدول نیز بین حداقل صفر و حداکثر ۱۰۰ می باشند. اعدادی که نزدیک به عدد ۵۰ هستند به معنی اینست که هیچگونه جداسازی صورت نگرفته است. اعدادی که کمتر از ۵۰ هستند نشان دهنده اینست که ناحیه مورد نظر از نظر وجود ناخن بیشتر شده است و بعبارتی درصد ناخن بیشتر از زعفران است. بر عکس اعداد بزرگتر از ۵۰ نشان دهنده اینست که در این نواحی درصد زعفران بیشتر است و این ناحیه محلی است که ناخن از زعفران جدا شده است. در شکل٤ اثر فاصله بین الکترود ها بر روی میزان خالص سازی زعفران در سطح ولتاژ ۱۲ کیلو ولت نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می گردد درصد وزنی زعفران در ناحیه۱ بیشترین مقدار و در ناحیه۳ کمترین

درصد وزنی زعفران وجود دارد. بعبارت دیگر در ناحیه۱ بیشترین مقدار تجمع زعفران (ناحیه ای که به الکترود مثبت نزدیکتر است) و در ناحیه۳ بیشترین تجمع ناخن رخ داده است. همانطور که اشاره شد چون درصد اختلاط اولیه زعفران و ناخن بصورت ۵۰ درصد مساوی بوده است بنابراین این نمودار نشان می دهد که قطعات زعفران جذب الکترود مثبت و قطعات ناخن جذب الکترود منفی شده اند.

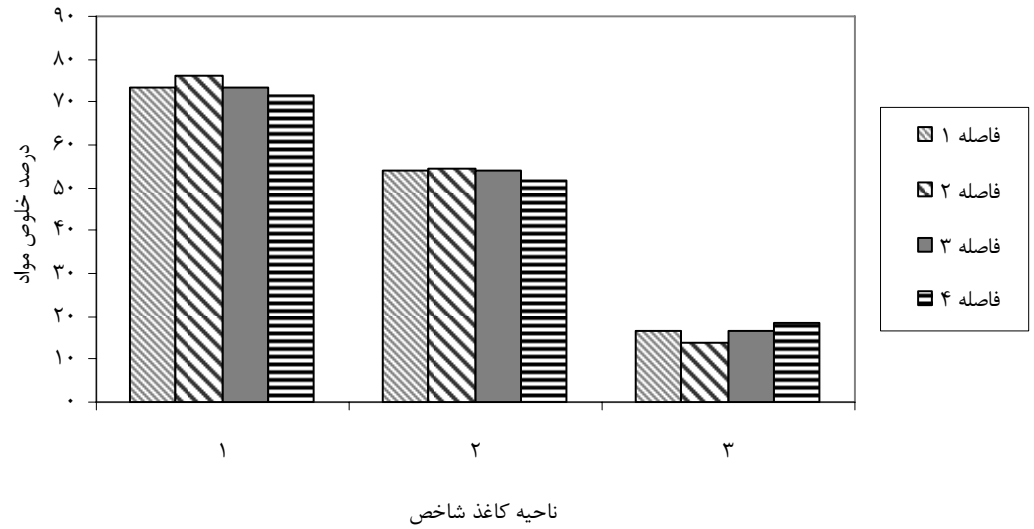
جدول۲ : درصد خلوص زعفران مخلوط شده با ناخن در هر ناحیه کاغذ های شاخص (در ولتاژ ۱۲ هزار ولت)

فاصله الکترود	۱۰(cm)			۲۰(cm)			۳۰(cm)			٤۰(cm)		
تکرار / ناحیه	3	2	1	3	2	1	3	2	1	3	2	1
1	15	55	75	15	55	75	17	54	73	17	52	73
2	16	54	74	14	56	76	16	55	74	19	53	71
3	17	54	73	13	57	77	15	54	75	20	52	70
4	18	55	72	12	53	78	17	53	73	18	50	72
5	17	53	73	15	52	75	18	54	72	18	52	72
میانگین	16.6	54.2	73.4	13.8	54.6	76.2	16.6	54	73.4	18.4	51.8	71.6
انحراف معیار	1.14	0.84	1.14	1.30	2.07	1.30	1.14	0.71	1.14	1.14	1.10	1.14
ضریب تغییرات	14.56	64.78	64.38	10.58	26.33	58.44	14.56	76.37	64.38	16.14	47.29	62.80



شکل ٤ : خلوص زعفران (مخلوط ناخن و زعفران) روی کاغذهای شاخص و میدان ۱۲ کیلوولت

تمایل به انحراف قطعات زعفران و ناخن در سطح ولتاژ ۱۲ کیلو ولت برای فواصل مختلف بین الکترود ها در شکل۵ نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می گردد. در تمام فواصل در ناحیه۱ بیشترین تجمع زعفران و در ناحیه۳ کمترین تجمع زعفران وجود دارد. با توجه به تجمع مواد مختلف در این نواحی می توان نتیجه گرفت که این دو ماده (زعفرن و ناخن) دارای خواص دی الکتریک متفاوت بوده و بنابراین این امکان وجود دارد که بتوان از روش های جدا سازی الکترواستاتیکی برای جداسازی ناخن از زعفران که یکی از مهمترین ناخالصی های زعفران است استفاده نمود و کیفیت محصول نهایی زعفران را افزایش داد. با این وجود نتایج بدست آمده حاکی از آنست که با این روش باردار کردن (باردارکردن مالشی) جداسازی بصورت مطمئنی صورت نمی گیرد. زیرا هنگامی می توان جدا سازی را مطمئن در نظر گرفت که میزان خالص سازی نزدیک به ۱۰۰ درصد باشد. و یا از طرف دیگر میزان وجود زعفران در طرف مقابل (ناحیه۳) نزدیک به صفر درصد باشد.



شکل۵ : نمودار میله ای درصد خلوص زعفران (مخلوط ناخن و زعفران) در مناطق مختلف کاغذهای شاخص و میدان۱۲ کیلوولت

نتیجه گیری و پیشنهادات

با توجه به نتایج بدست آمده مشخص گردید که با باردار کردن مالشی مخلوط زعفران و ناخن و عبور این مخلوط از میان یک میدان الکتریکی قوی قطعات زعفران و ناخن به گونه متفاوتی از هم منحرف می گردد. این امر نشان دهنده اینست که این دو ماده دارای خواص دی الکتریک متفاوت از هم هستند بطوریکه امکان جداسازی الکترواستاتیکی آنها بطور موثری وجود دارد. از طرف دیگر نتایج بیانگر این واقعیت هستند که روش باردار کردن مالشی این مخلوط به میزان کافی آنها را باردار نمی کند تا بتوان بصورت قابل اطمینانی آنها را جداسازی نمود. بنابراین پیشنهاد می گردد مطالعات بیشتری در خصوص باردار کردن این مخلوط به روش های دیگر صورت گیرد تا بتوان با راندمان بالاتری این ناخالصی را از زعفران جدا نمود. علاوه براین با توجه به اینکه ناخالصی های گوناگون دیگری در زعفران وجود دارد لازم است در هر مورد آزمایشات مختلف در خصوص جداسازی آنها صورت گیرد. این چنین مواردی هم اکنون در ادامه همین پروژه در دست اقدام است.

فهرست منابع:

۱. امیرقاسمی، ت . ۱۳۸۰ . زعفران، طلای سرخ ایران. انتشارات آیندگان

۲. دینی، م .۱۳۸٤ . اسامی علمی گیاهان دارویی مورد مصرف در طب سنتی. موسسه تحقیقات جنگلها و مراتع

۳. شفیعی، ا . ۱۳۷۱ . اصول ماشینهای کشاورزی. جلد اول. انتشارات دانشگاه تهران.

4. Aman, F. M., R.; Kohnlechner, R.; Samuila, A.; Dascalescu, L.; (2004). "High-voltage electrode position: a key factor of electrostatic separation efficiency." **40**(3): 905 - 910.
5. Dwari, R. K., And Hanumantha Rao, K (2008). "Fine coal preparation using novel tribo-electrostatic separator."
6. Kamawto H, Seki. K (2005). "Mechanism on Traveling Wave Transport of Particles" **71**: 1161-1168.
7. Kawamoto, H., and Umezu, S (2008). "Some techniques on electrostatic separation of particle size utilizing electrostatic traveling-wave field."

8. Krishnan, P. a. A. G. B. (1985). Electrostatic Separation of Flower Paerts from Onion Seeds, Trans of the ASAE.
9. Lacor, A. Jia, L. Hongzhou, L. Zhenming, X. and Yaohe, Z. (2005). Recycle Technology for Recovering Resources and Products from Waste Printed Circuit Boards
10. Leonov, V. S. (1984). Divisibility Criteria During Electrical Separation. **4:** 47-49.
11. Lundahl, E. (2001). Electrostatic Separation of Chaff from Grain. US Patent, us 6225587B1
12. 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
13. Niels, Jonassen, (2005). Useful Static Electricity. Mr. Static. 4: 65-69.
14. Ralston, O. C. (1961). "Electrostatic Separation of Mixed Granular Solids."
15. Xiao, C., Allen, L., Biddle, M.M., and Fisher, M.M (2006). "Electrostatic Separation And Recovery Of Mixed Plastics."

Abstract:

Saffron is one of the most important plants because of its valuable red stigma. To verify the probability of different impurities separation, a device was designed and constructed which works on the base of electrostatic science. That is different electrostatic properties of materials provides different absorption or repulsion force. This device consists of the following opponents: A DC power supply, a high voltage board for intensifying the output voltage, the electrodes (copper plates), the charging unit and some separating boxes. In this project the separation of hair, nail and stamen from saffron stigma was investigated as the saffron impurities. The results showed that the highest efficiency was observed for nail separation which was 76.2 %. This separation was obtained with the following arrangements: voltage, 12 kv; charging time, 120 seconds; gap of plates, 20 cm. However, for hair and stamen separation from red stigma significant results were not obtained. The poor separation effect of these materials is probably due to similarity of their dielectric constants ant the red stigma of saffron. So more researches are essential with higher voltage and different moisture levels to obtain a more efficient separation results.