

بررسی امکان جداکردن ناخالصی از کلاله‌ی زعفران با استفاده از یک جداکننده‌ی الکترواستاتیک

حمید مرتضی پور^{۱*} - سهیلا مشیری راد^۲ - منصوره اخباری^۳

تاریخ دریافت: ۹۲/۵/۲۸

تاریخ پذیرش: ۹۲/۹/۳

چکیده

در تحقیق حاضر یک جداکننده‌ی الکترواستاتیک آزمایشگاهی ساخته و توانایی آن در جداسازی ناخالصی‌های همراه با کلاله‌ی زعفران بررسی گردید. جداکننده‌ی ساخته شده، شامل یک نوار نایلونی بود که در اثر مالش بر روی یک پارچه‌ی پشمی باردار می‌شد. نوار باردار شده در ادامه از مقابل سینی محتوی کلاله و مواد زاید عبور می‌کرد. از آنجا که خواص الکترواستاتیک ذرات کلاله و مواد زاید متفاوت است، مقدار جذب آن‌ها به نوار باردار، تحت تأثیر میدان الکتریکی تفاوت داشت. آزمایش‌ها در سه سطح موقعیت نوار (با فاصله‌ی ۱/۵، ۲/۵ و ۳/۵ سانتی‌متر از سینی مواد)، سه سطح سرعت غلتک محرک نوار (۵۰، ۶۰ و ۷۰ دور بر دقیقه) و سه سطح مدت زمان جداسازی (۱۲۰، ۱۸۰ و ۲۴۰ ثانیه) انجام شد. نتایج تحقیق نشان داد که مقدار جذب مواد با افزایش زمان جداسازی و کاهش فاصله‌ی نوار، افزایش یافت. همچنین، افزایش سرعت نوار از ۵۰ تا ۶۰ دور بر دقیقه سبب بهبود قابلیت جذب مواد گردید. این در حالی بود که افزایش بیشتر سرعت از ۶۰ تا ۷۰ دور بر دقیقه کاهش جذب را در پی داشت. بیشترین مقدار جداسازی ناخالصی کلاله‌ی زعفران در تحقیق حاضر ۹۷ درصد جرمی بود که در فاصله‌ی نوار ۱/۵ سانتی‌متر، سرعت ۶۰ دور بر دقیقه و مدت جداسازی ۲۴۰ ثانیه مشاهده گردید. کمترین مقدار جذب کلاله نیز در فاصله‌ی نوار ۳/۵ سانتی‌متر، سرعت ۷۰ دور بر دقیقه و زمان آزمایش ۱۲۰ ثانیه، برابر ۲ درصد جرمی به‌دست آمد.

واژه‌های کلیدی: الکترواستاتیک، جداکردن، زعفران

مقدمه

یکی از مراحل تولید زعفران، جداسازی کلاله از سایر اجزای گل است که به‌طور معمول توسط نیروی انسانی و با دست انجام می‌شود. دقت پایین و زمان طولانی مورد نیاز برای این فرآیند باعث می‌شود که همواره مقداری ناخالصی سفید رنگ (پوشال زعفران) همراه با کلاله‌ی جدا شده، باقی بماند که جداکردن کامل آن توسط نیروی انسانی مستلزم صرف زمان، دقت و هزینه‌ی فراوان است. لذا استفاده از یک روش مکانیزه برای جداکردن ناخالصی‌های همراه با کلاله، امری ضروری به‌نظر می‌رسد.

از روش‌های گوناگونی برای جدا کردن ذرات مواد خشک استفاده می‌شود، که از متداول‌ترین آن‌ها جداکننده‌های مکانیکی هستند. این جداکننده‌ها (مانند الک‌ها، جداسازهای گریز از مرکز و غیره) اگرچه کاربردهای فراوانی در صنعت دارند، اما دارای محدودیت‌هایی از قبیل صدمه زدن به مواد حساس، تحت تأثیر نیروهای مکانیکی و آلوده شدن مواد به ناخالصی‌هایی مانند غبار، ذرات فلزی و حتی بخار روغن می‌باشند (Kawamoto, 2008). یکی از روش‌های جداسازی مواد که به‌طور گسترده برای جدا کردن ذرات کوچک مواد به‌صورت خشک، مورد استفاده قرار گرفته، روش الکترواستاتیک است. در جداکننده‌های الکترواستاتیک، ذرات مواد، باردار شده و از میان یک میدان الکتریکی

زعفران گران‌بهارترین ادویه جهان است و ایران با تولید بیش از ۸۰ درصد، بزرگترین تولیدکننده‌ی این محصول می‌باشد (Juan et al., 2009). کلاله‌ی قرمز رنگ زعفران در بسیاری از کشورها دارای کاربردها و مصارف گسترده‌ای است. از جمله کاربردهای زعفران، می‌توان به استفاده از آن در مواد غذایی مختلف، داروسازی، تهیه‌ی مواد آرایشی، عطر سازی و رنگ‌های نساجی اشاره نمود. زعفران به‌دلیل رنگ، عطر و طعم ویژه‌ای که دارد، دارای مصارف خوراکی در صنایع پخت، نوشابه‌ها و بستنی در سراسر جهان می‌باشد. خواص دارویی زعفران بسیار زیاد است و پژوهشگران متعددی در شرایط مختلف به بررسی خواص درمانی آن پرداخته‌اند (Das et al., 2010; Kanakis et al., 2009; Papandreu et al., 2011; Shamsa et al., 2009).

۱- استادیار گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشگاه شهید باهنر کرمان

۲- دانشجوی دانشگاه علوم پزشکی مشهد

۳- دانشجوی دانشگاه علوم پزشکی بیرجند

(Email: h.mortezapour@uk.ac.ir

*) نویسنده مسئول:

به الکترودهای ولتاژ قوی، از یک روش سنتی که به‌وسیله‌ی کشاورزان و تولیدکنندگان زعفران در مناطقی از خراسان، برای جدا کردن ناخالصی‌های کلاله‌ی زعفران استفاده می‌شود، گرفته شد. در این روش، یک نایلون که با مالش بر روی فرش یا پارچه‌ی پشمی باردار شده، با فاصله‌ی کم از روی سینی حاوی مخلوط کلاله و ناخالصی عبور داده می‌شود. میدان الکتریکی صفحه‌ی نایلونی باردار، باعث القای بارهای متفاوت در ذرات کلاله و ناخالصی می‌گردد. تفاوت جرم و نیروی الکتریکی وارد بر ذرات دارای جنس متفاوت باعث می‌شود که ناخالصی‌های سفید رنگ قبل از کلاله‌های قرمز رنگ به نایلون چسبیده و با حرکت آن به بیرون منتقل شوند. انجام عمل جداسازی در روش سنتی با نیروی انسانی صورت می‌پذیرد.

مواد و روش‌ها

دستگاه جداکننده‌ی الکترواستاتیک پوشال زعفران

در شکل ۱ طرحی از اجزای مختلف دستگاه جداکننده‌ی الکترواستاتیک ساخته شده در تحقیق حاضر نمایش داده شده است. این دستگاه از یک شاسی چوبی، که سایر قسمت‌ها روی آن سوار شده‌اند، تشکیل گردید. روی شاسی فضایی برای قرارگیری سینی کلاله‌ی ناخالص زعفران و سینی جمع‌آوری مواد زاید جدا شده تعبیه شد. قسمت اصلی دستگاه شامل یک نوار بی‌انتهای نایلونی بود که توسط دو غلتک لاستیکی که در دو کناره‌ی آن قرار گرفتند، حرکت می‌کرد. نوار نایلونی از جنس پلی اتیلن سبک^۱ (LDPE) با ضخامت تقریبی ۲۵۰ میکرون، نارسانا با مقاومت کششی ۶۲ مگاپاسکال، مدول الاستیسیته‌ی ۲/۶ گیگاپاسکال و ضریب افزایش طول در شکست معادل ۲۰۰ درصد بود، که به‌دلیل مقاومت شکست، چقرمگی و انعطاف‌پذیری بالا انتخاب شد. غلتک محرک، حرکت خود را از یک موتور الکتریکی کوچک که در امتداد محور آن نصب شده بود، می‌گرفت و غلتک دیگر را به‌وسیله‌ی نوار می‌چرخاند. موتور الکتریکی استفاده شده در دستگاه دارای تغذیه‌ی جریان مستقیم بود و برای دستیابی به سرعت‌های مختلف، از یک مقاومت متغیر کربنی در مدار جریان ورودی آن استفاده شد.

در کنار غلتک متحرک و در تماس با آن، یک قسمت استوانه‌ای شکل که دور آن با پارچه‌ی پشمی پوشیده شده بود، نصب گردید. پارچه‌ی پشمی دو عمل باردار کردن نوار نایلونی در حال حرکت و جداسازی مواد زاید حمل شده توسط نوار از سطح آن را انجام می‌داد. سایر قسمت‌های دستگاه شامل یک کلید روشن-خاموش و صفحه‌ی نمایش سرعت چرخش غلتک محرک بودند. برای اندازه‌گیری سرعت دورانی غلتک محرک از یک حسگر مادون قرمز استفاده گردید.

قوی عبور داده می‌شوند. از آنجا که نیروی الکتریکی وارد بر ذرات دارای بار مختلف، متفاوت است، مسیر حرکت ذرات باردار تحت تأثیر میدان الکتریکی با یکدیگر فرق دارد و این امر سبب جداسازی مواد از یکدیگر می‌گردد (Yanar and Kwetkus, 1995). تاکنون پژوهشگران متعددی برای جداسازی ذرات مواد گوناگون از یکدیگر، اقدام به طراحی، ارزیابی و مدل‌سازی جداکننده‌های الکترواستاتیک نموده‌اند (Eskibalci and Ozkan, 2012; Saeki, 2008; Tilmatine et al., 2009).

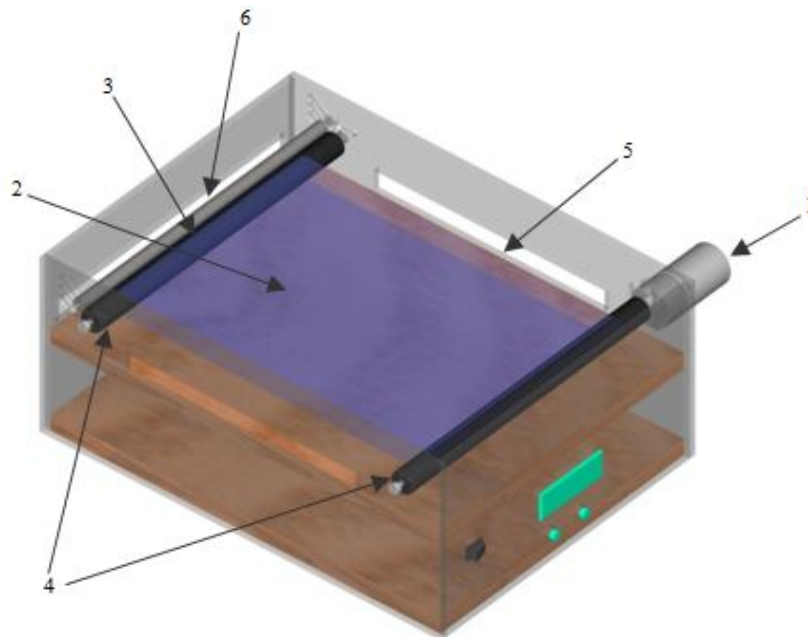
در تحقیقی شکل‌های مختلفی از میدان الکتریکی در یک جداکننده الکترواستاتیک شبیه‌سازی و بررسی گردید (Vlad et al., 2000). نتایج این تحقیق نشان داد که با استفاده از الکترودهای با مقطع بیضی شکل، میدان الکتریکی یکنواخت‌تر و بازده‌ی جداسازی بیشتر بود. موارد متعددی از کاربرد جداکننده‌های الکترواستاتیک برای بازیافت فلزات مختلف موجود در صفحه‌های مدار چاپی مستهلک گزارش شده است (Guo et al., 2011; Jiang et al., 2009; Li et al., 2009; Wu et al., 2008; Wu et al., 2008).

به‌منظور خالص‌سازی ذغال سنگ از جداسازی الکترواستاتیک با روش تماسی استفاده گردید (Dwari and Hanumantha Rao, 2008). در این روش ذرات توسط جریان هوای عبوری، باردار و از میان دو الکترودهای مثبت و منفی با اختلاف پتانسیل الکتریکی بالا عبور داده می‌شدند. نتایج نشان داد که مقدار خاکستر زاید جمع‌آوری شده در ظرف‌های نزدیک به الکترودهای مثبت و منفی به‌ترتیب ۶۱ و ۸ درصد است. گزارش‌های دیگری نیز در رابطه با امکان خالص‌سازی ذغال سنگ با استفاده از روش‌های الکترواستاتیک ارائه گردیده است (Dwari and Hanumantha Rao, 2006; Dwari and Hanumantha Rao, 2009; Cao et al., 2012).

گروهی از پژوهشگران برای جداسازی اجزای مختلف سیوس گندم از روش الکترواستاتیک استفاده کردند (Hemery et al., 2011). در این تحقیق سیوس گندم آسیاب و با روش تماسی باردار می‌شد. ذرات باردار شده تحت تأثیر میدان الکتریکی قوی الکترودهای مثبت و منفی، از یکدیگر جدا شدند. در نهایت، نتایج تحقیق بیانگر عملکرد مناسب جداکننده‌ی استفاده شده (حدود ۴/۵٪ تلفات) بود.

هدف اصلی از انجام تحقیق حاضر، ارائه‌ی روشی جدید برای جدا کردن ناخالصی‌های همراه با کلاله‌ی زعفران بر مبنای علم الکترواستاتیک است. اگر چه تاکنون جداکننده‌های الکترواستاتیک متعددی برای جداسازی مواد مختلف ساخته و مورد استفاده قرار گرفته، اما در تمام این روش‌ها برای ایجاد میدان الکتریکی نیاز به الکترودهای با ولتاژ بسیار بالا است. که این خود باعث ایجاد پیچیدگی‌ها و محدودیت‌هایی در ساخت و استفاده از این گونه وسایل می‌گردد. لذا در پژوهش حاضر، ساخت و ارزیابی یک جداکننده‌ی الکترواستاتیک با ساختار ساده و بدون نیاز به منبع تولید و الکترودهای ولتاژ بالا مد نظر قرار گرفت. ایده‌ی اصلی ساخت جداساز بدون نیاز

1- Low density poly ethylene

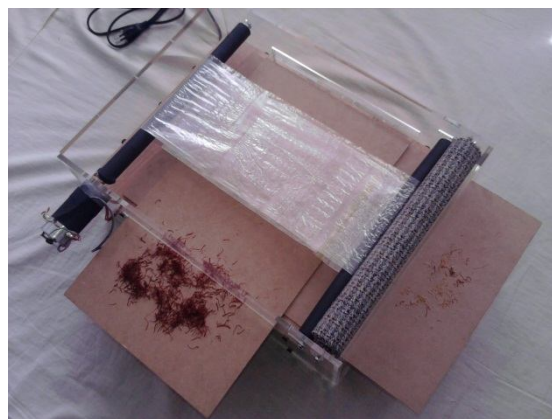


شکل ۱ - جداکننده‌ی الکترواستاتیک طراحی شده؛ (۱) موتور الکتریکی DC، (۲) نوار نایلونی، (۳) استوانه‌ی پشمی، (۴) غلتک‌های نوار، (۵) محل قرارگیری سینی مواد، (۶) محل قرارگیری سینی مواد زاید

Fig.1. The designed electrostatic separator; (1) DC motor, (2) Nylon ribbon, (3) Woolen drum, (4) Rollers, (5) Place of material tray, (6) Place of impurity tray

داده و نیروی جاذبه الکتریکی وارد می‌گردید. به دلیل تفاوت جرم و خواص الکترواستاتیکی مواد، مقدار جذب ذرات سفید ناخالصی توسط نوار نایلونی، نسبت به کلاله بیشتر بود. ذرات زاید که به نوار می‌چسبیدند، در مرحله‌ی بعد، هنگام تماس با پارچه‌ی پشمی از نوار جدا و در مخزن مواد زاید جمع‌آوری می‌شدند. تصویر جداکننده‌ی الکترواستاتیک تحقیق حاضر در شکل ۲ آورده شده است.

نحوه‌ی کار دستگاه جداساز الکترواستاتیک ساخته شده به این ترتیب بود که با روشن شدن دستگاه، موتور الکتریکی شروع به حرکت کرده و سبب چرخش غلتک محرک و نوار نایلونی می‌گردید. نوار نایلونی در بخشی از مسیر حرکت خود، به پارچه پشمی مالیده و باردار می‌شد و در ادامه مسیر از روی مخزن که حاوی زعفران همراه ذرات سفید ناخالصی بود، عبور می‌کرد. تحت تأثیر میدان الکتریکی نوار باردار، در ذرات کلاله و ناخالصی، به صورت جزئی، القای بار رخ



شکل ۲ - تصویری از جداکننده‌ی الکترواستاتیک ساخته شده

Fig.2. A photograph of the fabricated electrostatic separator

جدول ۱- تجزیه‌ی واریانس اثر فاکتورهای آزمایش بر ناخالصی جدا شده و تلفات کلله

Table 1- Analysis of variance of the effect of the trial factors on separated impurity and stigma losses

میانگین مربعات		درجه آزادی	منبع تغییر
Mean of Square	df		
تلفات کلله	ناخالصی جدا شده		
Stigma losses	Separated impurity		
1845.815 **	1951.272 **	2	فاصله Distance
3121.815 **	3492.827 **	2	زمان Time
744.444 **	1014.679 **	2	سرعت Speed
83.685 **	44.494 **	4	فاصله × زمان Time × Distance
119.815 **	10.346 *	4	فاصله × سرعت Distance × Speed
43.481 *	63.568 **	4	زمان × سرعت Time × Speed
39.185 *	5.346 *	8	فاصله × زمان × سرعت Distance × Time × Speed
15.988 ^{ns}	1.173 ^{ns}	54	خطا Error
		80	کل Total
5.4	5.6		ضریب تغییرات (%CV)

* و ** به ترتیب معنی دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد، ^{ns} غیر معنی دار
*, ** Significant at 5% and 1% of probability levels, respectively, ^{ns} Non. Significant

روش انجام آزمایش

پس از ساخت دستگاه جداسازی زعفران، آزمایش‌های مربوط به ارزیابی آن انجام شد. زعفران سرگل قائنات با رطوبت ۱۰٪ برای انجام آزمایش‌ها مورد استفاده قرار گرفت (رطوبت زعفران مطابق استاندارد ملی ایران شماره ۲-۲۵۹۹، با روش حرارتی در دمای ۱۰۳ درجه‌ی سلسیوس و زمان ۱۶ ساعت اندازه‌گیری شد).

فاکتورهای آزمایش شامل فاکتور A: سرعت دورانی غلتک‌های نوار نایلونی که تعیین‌کننده‌ی سرعت خطی نوار نایلونی است در سه سطح ۵۰، ۶۰ و ۷۰ دور بر دقیقه (معادل سرعت خطی نوار ۵/۲۳، ۶/۲۸ و ۷/۳۲ سانتی‌متر بر ثانیه)؛ فاکتور B: فاصله‌ی نوار پلاستیکی تا سطح سینی زعفران در سه سطح ۱/۵، ۲/۵ و ۳/۵ سانتی‌متر؛ فاکتور C: طول زمان انجام آزمایش در سه سطح ۱۲۰، ۱۸۰ و ۲۴۰ ثانیه شد. آزمایش‌ها در سه تکرار و در قالب طرح آزمایشی فاکتوریل در قالب بلوک کامل تصادفی انجام گرفت به طوری که هر تکرار از آزمایش‌ها در یک روز بود.

برای انجام هر آزمایش مقدار ۵ گرم کلله‌ی خالص و یک گرم پوشال زعفران، روی سینی مربوط به زعفران پهن شد. پس از آن

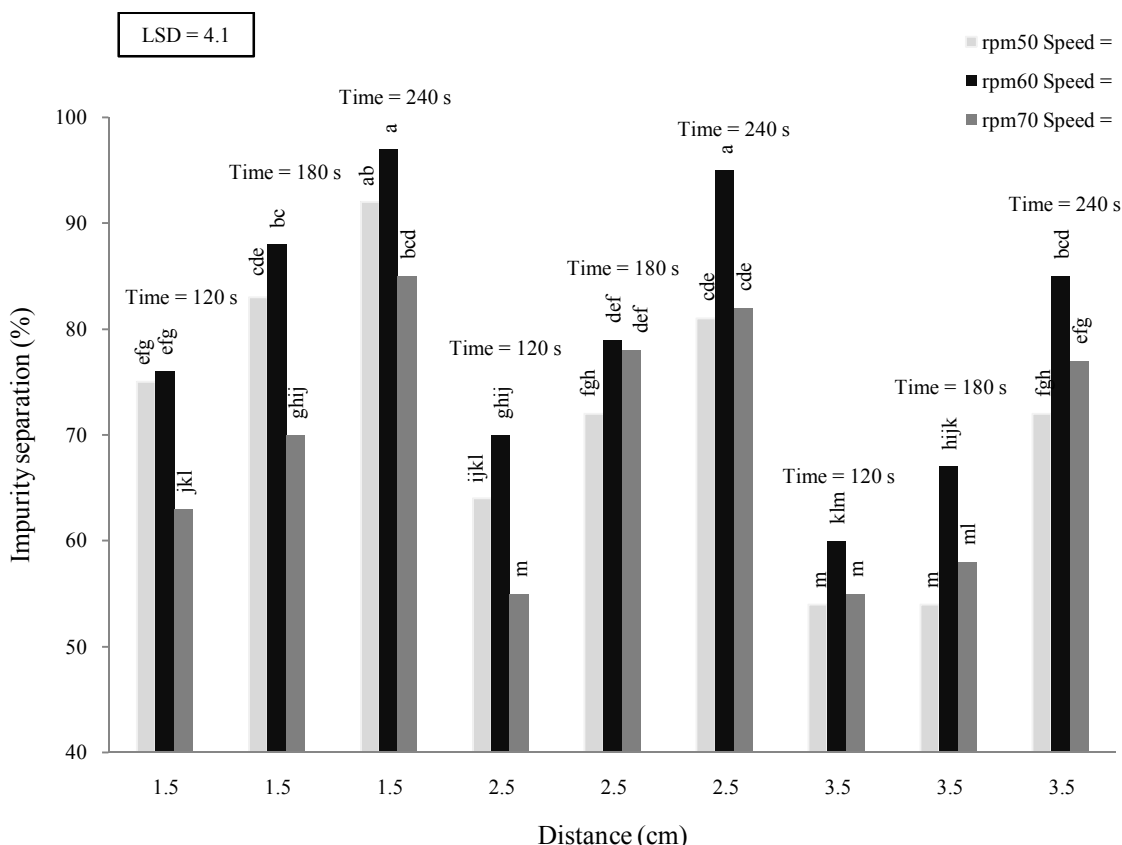
سینی در محل مخصوص خود زیر نوار نایلونی قرار گرفت. در مرحله‌ی بعد دستگاه با توجه به شرایط آزمایش تنظیم و سپس روشن شد. در پایان هر آزمایش جرم ذرات سفید پوشال و کلله‌های قرمزی که از سینی زعفران توسط نوار به داخل سینی مخصوص مواد زاید منتقل گردیده بودند، اندازه‌گیری گردید. در نهایت متغیرهای وابسته‌ی آزمایش، درصد مواد زاید جدا شده از زعفران سرگل و درصد کلله‌ی قرمز منتقل شده به سینی مواد زاید بودند که از روابط (۱) و (۲) محاسبه شدند.

درصد مواد زاید جدا شده

$$(1) \quad = \frac{\text{جرم پوشال سینی مواد زاید}}{\text{جرم اولیه پوشال}} \times 100$$

درصد کلله منتقل شده

$$(2) \quad = \frac{\text{جرم کلله موجود در سینی مواد زاید}}{\text{جرم اولیه کلله}} \times 100$$



شکل ۳- نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل سرعت، فاصله‌ی نوار و زمان بر جداسازی ناخالصی

Fig.3. Mean comparison of different speeds, ribbon distances and times interaction effect on impurity separation

نتایج و بحث

زعفران افزایش یافته و این امر سبب افزایش قابلیت جذب مواد گردیده است. از طرفی، با افزایش بیشتر سرعت دورانی از ۶۰ به ۷۰ دور بر دقیقه از میزان جذب مواد کاسته شد. دلیل اصلی این امر آن است که با افزایش سرعت، اگرچه طول نوار عبور کرده از روی سطح و در نتیجه جذب مواد افزایش می‌یابد، اما ارتعاشات و نیروهای دینامیکی وارد بر ذرات چسبیده به آن نیز زیاد می‌شود. لذا، افزایش بیشتر سرعت از ۶۰ دور بر دقیقه در مجموع سبب کاهش مقدار جذب گردید.

باتوجه به شکل‌های ۳ و ۴ همچنین مشخص است که افزایش فاصله سبب کاهش جذب و انتقال مواد در شرایط مختلف آزمایش گردید. به طوری که، با افزایش فاصله از ۱/۵ تا ۳/۵ سانتی‌متر، مقدار متوسط جداسازی پوشال و کلاله به ترتیب ۲۶ و ۱۹ درصد کاهش یافت. این کاهش در واقع مطابق با قانون کولن، که براساس آن نیروی جاذبه کولنی متناسب با عکس مجذور فاصله بین دو بار است، می‌باشد.

شکل‌های ۳ و ۴ همچنین نشان می‌دهند که با افزایش زمان آزمایش، درصد جذب کلاله و ذرات سفید در شرایط مختلف افزایش

نتایج تجزیه‌ی واریانس اثر فاکتورهای مختلف آزمایش بر مقدار پوشال و کلاله‌ی منتقل شده در جدول ۱ نشان داده شده است. با توجه به جدول مشخص است که فاکتورهای آزمایش تأثیر معنی‌داری، در سطح ۱ درصد، بر درصد مواد جدا شده دارند. همچنین اثر متقابل سه‌گانه‌ی فاکتورهای آزمایش بر جداسازی مواد، اثر دوگانه‌ی فاصله‌ی نوار در سرعت بر مقدار پوشال جدا شده و زمان در سرعت بر تلفات کلاله در سطح ۵ درصد معنی‌دار بود. سایر اثرهای متقابل نیز موجب ایجاد تغییرات در سطح ۱ درصد شدند.

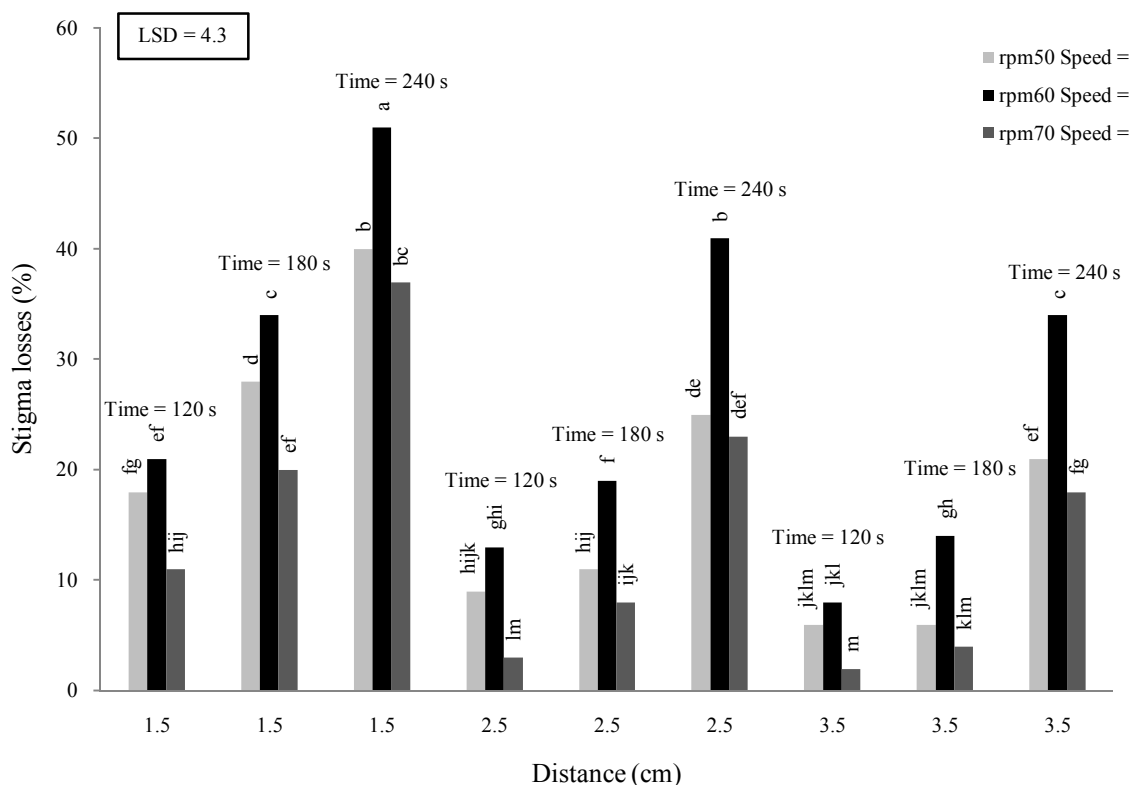
در شکل‌های ۳ و ۴ نتایج مقایسه‌ی میانگین اثر متقابل سه‌گانه‌ی سرعت، فاصله‌ی نوار و زمان آزمایش به ترتیب بر درصد جداسازی ناخالصی و تلفات کلاله نشان داده شده است.

با توجه به شکل‌های ۳ و ۴ با افزایش سرعت دورانی از ۵۰ به ۶۰ دور بر دقیقه، در شرایط مختلف آزمایش، مقدار جذب کلاله و ذرات زاید افزایش یافته است. به عبارت دیگر می‌توان گفت با افزایش سرعت دورانی از ۵۰ به ۶۰ دور بر دقیقه، طول نوار عبوری از سطح

کلاله ۵۱ درصد بود. کمترین مقدار تلفات کلاله در سرعت دورانی ۷۰ دور بر دقیقه با فاصله‌ی نوار ۳/۵ سانتی‌متر و زمان جداسازی ۱۲۰ ثانیه، برابر ۲ درصد به‌دست آمد. مشاهدات آزمایش نشان داد که در این حالت، جداکننده‌ی ساخته شده تنها قادر به جداسازی حدود ۵۵ درصد مواد زاید می‌باشد. از این رو می‌توان نتیجه گرفت که استفاده از جداکننده‌ی ساخته شده به‌تنهایی برای جداسازی ناخالصی‌های همراه با کلاله مناسب نیست و می‌بایست در کنار آن از یک فرآیند جداسازی تکمیلی استفاده گردد.

یافت که دلیل اصلی آن افزایش فرصت جذب ذرات توسط نوار با افزایش زمان آزمایش بود. مشاهدات آزمایش حاکی از افزایش جذب مواد زاید و کلاله به مقدار متوسط ۲۳ و ۲۲ درصد با دو برابر شدن زمان جداسازی بود.

با مقایسه‌ی شکل‌های ۳ و ۴ واضح است که افزایش درصد جداسازی ذرات سفید رنگ با زیاد شدن مقدار انتقال کلاله همراه بوده است. در نهایت بیشترین مقدار جداسازی مواد زاید در سرعت دورانی ۶۰ دور بر دقیقه با فاصله‌ی نوار ۱/۵ سانتی‌متر و زمان جداسازی ۲۴۰ ثانیه، برابر ۹۷ درصد مشاهده گردید. در این حالت مقدار تلفات



شکل ۴- اثر متقابل سرعت، فاصله‌ی نوار و زمان بر تلفات کلاله

Fig.4. Mean comparison of different speeds, ribbon distances and times interaction effect on stigma losses

زیر بیان کرد:

۱- افزایش سرعت دورانی از ۵۰ به ۶۰ دور بر دقیقه سبب افزایش میزان جذب کلاله و ذرات زاید گردید. در حالی‌که افزایش سرعت از ۶۰ به ۷۰ دور بر دقیقه کاهش میزان جذب را به دنبال داشت.

۲- افزایش فاصله نوار با سطح زعفران باعث کاهش میزان جذب کلاله و ذرات سفید رنگ گردید.

۳- با افزایش مدت زمان انجام آزمایش درصد جذب مواد افزایش یافت.

نتایج آزمایش جداسازی با روش سنتی مقدار جداسازی ذرات سفید ۵۵ درصد و میزان جذب کلاله معادل ۳۸ درصد را نشان داد. همان‌گونه که مشاهده می‌شود روش سنتی در مقایسه با بهترین تیمار آزمایش دستگاه ساخته شده دارای قابلیت جذب مواد زاید کمتر و کلاله بیشتر است و به‌عبارت دیگر روش سنتی در مقایسه با دستگاه ساخته شده بسیار ضعیف‌تر عمل می‌کند.

نتیجه‌گیری

به‌طور خلاصه نتایج آزمایش‌های انجام شده را می‌توان به‌صورت

- ۴- میزان جذب کالاله و مواد زاید در روش سنتی به ترتیب ۳۸ و ۵۵ درصد بود.
- ۵- بیشترین مقدار جداسازی مواد زاید در سرعت دورانی ۶۰ دور بر دقیقه با فاصله‌ی نوار ۱/۵ سانتی‌متر و زمان جداسازی ۲۴۰ ثانیه، برابر ۹۷ درصد مشاهده گردید.
- ۶- کمترین مقدار تلفات کالاله در سرعت دورانی ۷۰ دور بر دقیقه با فاصله‌ی نوار ۳/۵ سانتی‌متر و زمان جداسازی ۱۲۰ ثانیه، برابر ۲ درصد بود.
- ۷- استفاده از جداکننده‌ی ساخته شده به‌تنهایی برای جداسازی ناخالصی‌های همراه با کالاله مناسب نیست و می‌بایست در کنار آن از یک فرآیند جداسازی تکمیلی استفاده گردد.

منابع

- Cao, Q., X. Xie, J. Li, J. Dong, and L. Jin. 2012. A novel method for removing quinoline insolubles and ash in coal tar pitch using electrostatic fields. *Fuel* 96: 314-318.
- Das, I., S. Das, and T. Saha. 2010. Saffron suppresses oxidative stress in DMBA-induced skin carcinoma: A histopathological study. *Acta Histochemica* 112: 317-327.
- Dwari, R. K., and K. Hanumantha Rao. 2006. Tribo-electrostatic behaviour of high ash non-coking Indian thermal coal. *International Journal of Mineral Processing* 81: 93-104.
- Dwari, R. K., and K. Hanumantha Rao. 2008. Non-coking coal preparation by novel tribo-electrostatic method. *Fuel* 87: 3562-3571.
- Dwari, R. K., and K. Hanumantha Rao. 2009. Fine coal preparation using novel tribo-electrostatic separator. *Minerals Engineering* 22: 119-127.
- Eskibalci, M. F., and S. G. Ozkan. 2012. An investigation of effect of microwave energy on electrostatic separation of colemanite and ulexite. *Minerals Engineering* 31: 90-97.
- Guo, C., H. Wang, W. Liang, J. Fu, and X. Yi. 2011. Liberation characteristic and physical separation of printed circuit board (PCB). *Waste Management* 31: 2161-2166.
- Hemery, Y., U. Holopainen, A. M. Lampi, P. Lehtinen, T. Nurmi, V. Piironen, M. Edelmann, and X. Rouau. 2011. Potential of dry fractionation of wheat bran for the development of food ingredients, part II: Electrostatic separation of particles. *Journal of Cereal Science* 53: 9-18.
- Jiang, W., L. Jia, and X. Zhen-ming. 2009. A new two-roll electrostatic separator for recycling of metals and nonmetals from waste printed circuit board. *Journal of Hazardous Materials* 161: 257-262.
- Juan, J. A. D., H. L. Córcoles, R. M. Muñoz, and M. R. Picornell. 2009. Yield and yield components of saffron under different cropping systems. *Industrial Crops and Products* 30: 212-219.
- Kanakis, C. D., P. A. Tarantilis, C. Pappas, J. Bariyanga, H. A. Tajmir-Riahi, and M. G. Polissiou. 2009. An overview of structural features of DNA and RNA complexes with saffron compounds: Models and antioxidant activity. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology* 95: 204-212.
- Kawamoto, H. 2008. Some techniques on electrostatic separation of particle size utilizing electrostatic traveling-wave field. *Journal of Electrostatics* 66: 220-228.
- Li, J., H. Lu, S. Liu, and Z. Xu. 2008. Optimizing the operating parameters of corona electrostatic separation for recycling waste scraped printed circuit boards by computer simulation of electric field. *Journal of hazardous materials* 153: 269-275.
- Papandreou, M. A., M. Tsachaki, S. Efthimiopoulos, P. Cordopatis, F. N. Lamari, and M. Margarity. 2011. Memory enhancing effects of saffron in aged mice are correlated with antioxidant protection. *Behavioural Brain Research* 219: 197-204.
- Saeki, M. 2008. Triboelectric separation of three-component plastic mixture. *Particulate Science and Technology* 26: 494-506.
- Shamsa, A., H. Hosseinzadeh, M. Molaei, M. T. Shakeri, and O. Rajabi. 2009. Evaluation of *Crocus sativus* L. (saffron) on male erectile dysfunction: A pilot study. *Phytomedicine* 16: 690-693.
- Tilmatine, A., S. Bendimerad, M. Younes, and L. Dascalescu. 2009. Experimental analysis and optimisation of a free-fall triboelectric separator of granular plastic particles. *International Journal of Sustainable Engineering* 2: 184-191.
- Vlad, S., M. Mihailescu, D. Rafiroiu, A. Iuga, and L. Dascalescu. 2000. Numerical analysis of the electric field in plate-type electrostatic separators. *Journal of Electrostatics* 48: 217-229.
- Wu, J., J. Li, and Z. Xu. 2008. Electrostatic separation for multi-size granule of crushed printed circuit

- board waste using two-roll separator. *Journal of Hazardous Materials* 159: 230-234.
20. Wu, J., Y. Qin, Q. Zhou, and Z. Xu. 2009. Impact of nonconductive powder on electrostatic separation for recycling crushed waste printed circuit board. *Journal of Hazardous Materials* 164: 1352-1358.
21. Yanar, D. K., and B. A. Kwetkus. 1995. Electrostatic separation of polymer powders. *Journal of Electrostatics* 35: 257-266.