

بررسی جداسازی پنوماتیک مغز بادام (رقم مامایی) از تکه‌های پوست چوبی

رحیم ابراهیمی^۱ و محمد جواد اعرابی^{۲*}

چکیده

یکی از فرآیندها، پس از برداشت بادام به دست آوردن مغز آن از هسته چوبی است. مهم‌ترین مشکل در این راه، جداسازی مغز از پوست چوبی پس از شکستن آن است. از این رو برای شناسایی روش مناسب پالایش مغز بادام از پوست چوبی، جداسازی پنوماتیک این محصول بررسی شد. نتایج بررسی‌ها نشان داد سرعت بهینه جریان هوا برای انجام جداسازی برابر ۷/۵ متر بر ثانیه است که در این سرعت بازده جداسازی پوست ۶۸/۴٪ و خطای جداسازی مغز صفر درصد خواهد بود. همچنین افزایش نرخ تغذیه، زاویه ورود مخلوط به تونل دستگاه و فاصله بین محل ورود مخلوط تا خروج مغز سبب کاهش بازده جداسازی پوست می‌شود. افزایش تعداد تکرار عملیات، بازده جداسازی پوست را افزایش داد. در هر صورت تکرار بهینه عملیات برای جداسازی پوست ۶ تکرار به دست آمد. همچنین تحلیل مخلوط خروجی از قسمت مغزها نشان داد که جداسازی تکه‌های پوست چوبی با طول بین ۲۰ میلی‌متر تا ۳۰ میلی‌متر به خوبی انجام نشده و حدود ۵۰٪ از آن‌ها در خروجی مغزها مشاهده شده است.

واژه‌های کلیدی: بازده جداسازی، خطای جداسازی، زاویه ورود مخلوط، سرعت جریان هوا، نرخ تغذیه.

ارجاع: ابراهیمی ر. و اعرابی م. ج. ۱۳۹۶. بررسی جداسازی پنوماتیک مغز بادام (رقم مامایی) از تکه‌های پوست چوبی. نشریه پژوهش‌های مکانیک ماشین‌های کشاورزی. ۶(۱): ۲۱-۱۳.

۱- دانشیار گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد.

۲- دانش آموخته کارشناسی ارشد مکانیک ماشین‌های کشاورزی، گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد.

* نویسنده مسئول: aaarabij@yahoo.com

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۰۵/۲۷

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۱/۲۵

مقدمه

بادام گونه‌ای از میوه‌های آجیلی با نام "*Amygdalus communis L.*" است (Aydin, 2003). ایران از نظر تولید بادام پس از کشورهای آمریکا، استرالیا، اسپانیا و مراکش در رتبه پنجم جهان قرار دارد (FAO, 2016). با این حال به دلیل عدم فرآوری مناسب جایگاه ایران در بازار جهانی صادرات چندان مناسب نیست (Salem, 2011). شایان ذکر است استان چهارمحال و بختیاری دومین تولید کننده بادام کشور است و عمده بادام تولیدی این استان رقم مامایی است که به عنوان کالایی صادراتی شناخته می‌شود (Mohammadi, 2011). همین امر مبین اهمیت بررسی عملیات فرآوری بادام رقم مامایی تولید شده در کشور است. فرآوری این محصول شامل سه مرحله شکست بادام، جداسازی مغز و بسته‌بندی آن است (Ebrahimi & Aarabi, 2011). برای انجام مرحله شکست از دستگاه بادام‌شکن استفاده می‌شود. مخلوط خروجی از دستگاه بادام‌شکن شامل ترکیب مغز بادام و تکه‌های پوست چوبی است (شکل ۱). مشخص کردن روش مناسب برای جداسازی مغز از این مخلوط گام مهمی در تسهیل فرآوری بادام خواهد بود. در کتاب راهنمای تولید و فرآوری بادام کالیفرنیا استفاده از جداساز پنوماتیک روش مناسب برای جداسازی مغز بادام ذکر شده است (Thompson et al., 1996). بر این اساس استفاده از جداساز پنوماتیک، برای به‌دست آوردن مغز (رقم مامایی) از تکه‌های پوست موجود در مخلوط در دستور کار این پژوهش قرار گرفت. با نگاهی به بررسی‌های انجام شده در زمینه جداسازهای پنوماتیک پارامترهای تأثیر گذار بر عملکرد این جداسازها شناسایی و بررسی شد. بررسی‌های انجام شده روی گندم (panasiewics et al., 2008; Gorial & Callaghan, 1991) و برنج (Kashayap & Pandya, 1966) نشان می‌دهد که عوامل تأثیرگذار بر کارایی جداساز پنوماتیک، خواص فیزیکی اجزای مخلوط، سرعت جریان هوای دمیده شده به دستگاه و زاویه ورود مخلوط اولیه به دستگاه است. در پژوهش دیگر پاک‌سازی سویا با جداساز پنوماتیک انجام شده است و سرعت هوای دمیده شده همراه با نرخ تغذیه محصول به درون دستگاه دو پارامتر تأثیر گذار بر بازده جداسازی گزارش شده‌اند (Murilo et al., 2009). پژوهشی دیگر نشان داد افزایش سرعت هوا، بازده و خطای جداسازی گندم را تحت تأثیر قرار می‌دهد (Panasiewics

et al., 2008). در پژوهش (El-Sayed et al., 2001) سرعت جریان هوا برای انجام جداسازی مغز بادام زمینی از پوست ۹/۸ متر بر ثانیه تا ۱۰/۲ متر بر ثانیه پیشنهاد شده است. نتایج بررسی (Farran & Macmillan, 1979) برای محصول ذرت نشان داده است که با افزایش نرخ تغذیه مخلوط میزان جداسازی کاهش خواهد یافت. افزایش سرعت هوای دمیده‌شده سبب افزایش بازده و خطای جداسازی خواهد شد و با کاهش زاویه ورود مخلوط به دستگاه، بازده جداسازی افزایش می‌یابد.

با این وجود تاکنون بررسی‌ای روی کارایی جداسازی پنوماتیک برای پالایش مغز بادام رقم مامایی انجام نشده است. بر این اساس استفاده از جداساز پنوماتیک، برای به‌دست آوردن مغز (رقم مامایی) از تکه‌های پوست موجود در مخلوط بررسی شد. تأثیر نرخ تغذیه مخلوط، زاویه ورود مخلوط، سرعت جریان هوا، فاصله بین ورود و خروج مخلوط و تکرار عملیات بر بازده جداسازی بررسی شد.

مواد و روش‌ها

تهیه و آماده سازی نمونه‌ها

برای این پژوهش مقداری بادام رقم مامایی از باغات بادام استان چهارمحال و بختیاری تهیه و با دستگاه بادام‌شکن شکسته شد و از آن جهت بررسی عملیات جداسازی استفاده شد (شکل ۱).

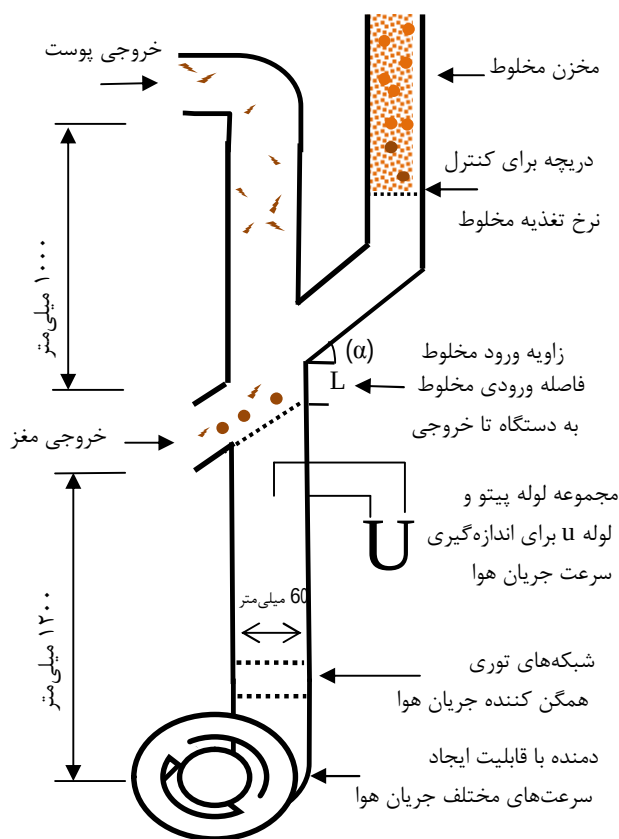


شکل ۱- مخلوط خروجی از دستگاه بادام شکن شامل مغز بادام و تکه‌های پوست چوبی

بازده جداسازی پوست، خطای جداسازی مغز

برای انجام آزمایش‌ها نمونه‌ای از جداساز پنوماتیک طراحی و در کارگاه خواص فیزیکی و مکانیکی دانشگاه شهرکرد توسعه داده شد (شکل ۲). این دستگاه مخلوط ورودی را به دو قسمت تقسیم می‌کند. بر اساس شکل ۲ قسمت بالایی برای خروج پوست آماده شده و خروجی پایینی مربوط به مغز است. طراحی دستگاه به گونه‌ای است که قابلیت تغییر در زاویه ورود مخلوط به تونل هوا (α) (بر

پارامتر در راستای سنجش تعداد پالایش لازم برای استفاده در سری سازی دستگاه است). برای بررسی اثر تکرار، عملیات جداسازی روی مخلوط اولیه انجام می‌شد. مخلوط خروجی از قسمت مغزها (این مخلوط شامل ترکیبی از پوست و مغز بادام است) دوباره درون مخزن قرار گرفته و عملیات جداسازی روی آن انجام می‌شد. عملیات در ۸ تکرار انجام شد. در نهایت بازده دستگاه در پایان هر تکرار از معادله (۱) محاسبه شد. با توجه به نتایج به دست آمده تأثیر تکرار عملیات بر کارایی جداساز بررسی شد. تأثیر تکرار عملیات بر بازده جداسازی پوست در شرایط $\{L=120$ میلی‌متر، $m=10$ گرم بر ثانیه و $\alpha=30^\circ$ درجه} برای سرعت‌های مختلف جریان هوا بررسی شد.



شکل ۲- شماتیک جداساز پنوماتیک ساخته شده



شکل ۳- محصول جداسازی شده بدون خطای جداسازی مغز
الف: خروجی پوست ب: خروجی مغز

حسب درجه)، تغییر فاصله بین ورودی مخلوط و خروجی مغز (L) (بر حسب میلی‌متر)، تغییر در نرخ تغذیه مخلوط ورودی به تونل هوا (m) (بر حسب گرم بر ثانیه) و تغییر در سرعت جریان هوا (V_a) (بر حسب متر بر ثانیه) را دارد. با توجه به اهداف مورد نظر از انجام جداسازی، پارامترهای سنجش کارایی دستگاه به صورت زیر تعریف شد. بازده جداسازی پوست (η) و خطای جداسازی مغز (ε) که به کمک معادلات (۱) و (۲) محاسبه می‌شوند. پاناسیویچ و همکاران از این معادلات در جداسازی گندم از کاه و کلش استفاده کرده‌اند (panasiewics et al., 2008).

η (بازده جداسازی پوست) =

$$(1) \quad \eta = \frac{\text{جرم پوست خارج شده در خروجی پوست}}{\text{جرم پوست موجود در مخلوط ورودی از مخزن}} \times 100$$

ε (خطای جداسازی مغز) =

$$(2) \quad \varepsilon = \frac{\text{جرم مغز خارج شده در خروجی پوست}}{\text{جرم مغز موجود در مخلوط ورودی از مخزن}} \times 100$$

برای محاسبه بازده جداسازی پوست، مقدار پوست موجود در مخلوط اولیه توزین می‌شود. پس از انجام جداسازی با دستگاه، میزان پوست جداسازی شده از مخلوط (میزان پوست به دست آمده در خروجی پوست) اندازه‌گیری شده (شکل ۳) و با کمک معادله (۱) بازده جداسازی پوست محاسبه می‌شود.

برای بیان مواردی که مغز بادام از خروجی پوست خارج می‌شود (شکل ۴) از پارامتر خطای جداسازی مغز استفاده می‌شود. این پارامتر به کمک معادله (۲) بیان شده است که برای محاسبه آن، میزان مغز بادام موجود در مخلوط اولیه اندازه‌گیری و پس از انجام جداسازی با دستگاه، میزان مغز خارج شده از خروجی پوست اندازه‌گیری شده و با کمک معادله (۲) به عنوان پارامتر خطای جداسازی در نظر گرفته شد.

دلیل اهمیت این دو پارامتر آن است که هدف از انجام جداسازی رسیدن به بالاترین حد پالایش پوست و مغز به نحوی است که هیچ مغزی در خروجی پوست‌ها (ضایعات) وجود نداشته باشد.

تکرار عملیات جداسازی

تعداد تکرار (n) لازم برای رسیدن به نتیجه قابل قبول در دستگاه‌های جداساز پارامتری تأثیرگذار است (اهمیت این

عملیات جداسازی انجام شده و بر این اساس تأثیر نرخ تغذیه بر بازده جداسازی پوست بررسی شد.

سرعت جریان هوا

یکی از مهم‌ترین عوامل در دستگاه جداساز پنوماتیک سرعت جریان هوای دمیده شده در تونل هوا (V_a) است. به همین جهت تأثیر سرعت هوای دمیده شده بر بازده دستگاه تحلیل شد. با تغییر در میزان هوای ورودی به دمنده پنج سرعت $۶/۵$ ، ۷ ، $۷/۵$ ، $۸/۵$ و $۹/۵$ متر بر ثانیه برای بررسی تأثیر سرعت بر بازده جداسازی ایجاد شد. بررسی تأثیر سرعت جریان هوا در شرایط $\{L=120\}$ میلی‌متر، $m=10$ گرم بر ثانیه، $n=6$ و $\alpha=30^\circ$ درجه انجام شد.

اندازه پوست‌ها

برای بررسی تأثیر اندازه پوست‌ها بر عملیات جداسازی، بادام شکسته شده با بادام‌شکن به چهار گروه براساس جدول ۱ تقسیم‌بندی شد. در بررسی انجام شده روی جداسازی ذرت از کاه و کلش نیز گروه‌بندی اجزای مخلوط بر اساس طول دستور کار قرار گرفته است Smith (& Stroshine, 1985).

جدول ۱- نحوه گروه‌بندی اجزای مخلوط

شماره گروه	مشخصه کیفی	مشخصه فیزیکی
گروه (۱)	پوست‌های کوچک	طول کمتر از ۲۰ میلی‌متر
گروه (۲)	پوست‌های متوسط	طول بین ۲۰ تا ۳۰ میلی‌متر
گروه (۳)	پوست‌های بزرگ	طول بیش از ۳۰ میلی‌متر
گروه (۴)	مغز بادام	

جداسازی با شرایط $L=120$ میلی‌متر، $V_a=7/5$ متر بر ثانیه، $m=10$ گرم بر ثانیه و $\alpha=30^\circ$ درجه روی مخلوط انجام شد. پس از انجام عملیات جداسازی، خروجی‌ها بر اساس گروه‌بندی انجام شده بررسی و از آن برای مشخص شدن تأثیر اندازه پوست‌ها بر جداسازی استفاده شد.

نتایج و بحث

تأثیر تکرار عملیات بر بازده جداسازی پوست

شکل ۵ تأثیر تکرار عملیات بر بازده جداسازی پوست را در شرایط $L=120$ میلی‌متر، $m=10$ گرم بر ثانیه و $\alpha=30^\circ$ درجه برای سرعت‌های مختلف جریان هوا نشان می‌دهد.



الف: خروجی پوست ب: خروجی مغز

شکل ۴- محصول جداسازی شده با خطای جداسازی مغز

زاویه ورود مخلوط

همان‌گونه که ذکر شد طراحی دستگاه به نحوی است که قابلیت تغییر در زاویه ورود مخلوط به دستگاه را داشته باشد. شایان ذکر است دامنه تغییرات زاویه ورود باید به گونه‌ای باشد که در تغذیه ثقیل مخلوط به دستگاه مشکلی ایجاد نشود. با انجام آزمایش زاویه اصطکاک استاتیکی مشخص شد کمترین مقدار لازم برای تأمین تغذیه مناسب مخلوط به دستگاه زاویه 27° است. بر این اساس حداقل زاویه ورود مخلوط 30° درجه در نظر گرفته شده است. این رو برای بررسی تأثیر زاویه ورود مخلوط (α)، سه زاویه 30° ، 45° و 60° استفاده شد. سپس در هرکدام از سه زاویه مذکور با ثابت نگه داشتن سایر پارامترها، عملیات جداسازی انجام شده و تأثیر تغییرات آن بر بازده جداسازی پوست تبیین شد.

فاصله بین ورود مخلوط تا خروجی مغز

از قابلیت دستگاه در تغییر فاصله بین محل قرارگیری ورودی و خروجی مغز (L)، برای بررسی تأثیر این فاصله بر بازده جداسازی استفاده شد. فاصله بین ورودی مخلوط و خروجی مغز ضریب‌های از قطر دستگاه (60 میلی‌متر) در نظر گرفته شد. سه طول 120 ، 360 و 600 میلی‌متر بدین منظور بررسی شد (شکل ۲). در هرکدام از سه طول، عملیات جداسازی انجام شده و تأثیر تغییرات آن بر بازده جداسازی پوست تبیین شد.

نرخ تغذیه

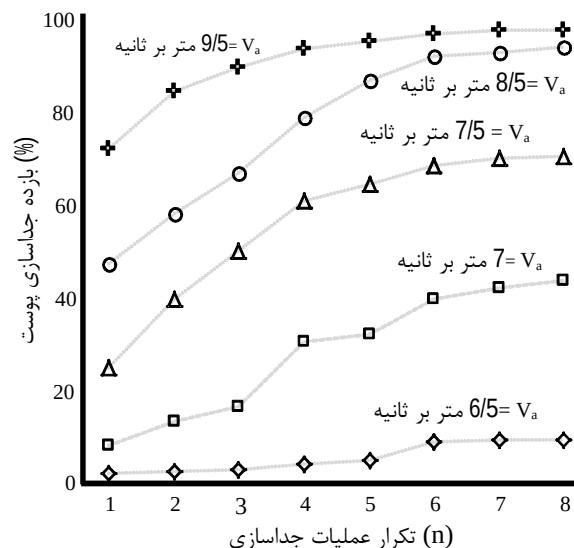
در دستگاه جداساز ساخته شده تغذیه مخلوط به قسمت جداساز به شکل ثقیل انجام می‌شود (شکل ۲). کنترل نرخ تغذیه مخلوط به دستگاه (m) با استفاده از دریچه کشویی در قسمت زیرین مخزن انجام می‌شود. با تغییر در مکان قرارگیری دریچه، سه نرخ تغذیه 10 ، 20 و 30 گرم بر ثانیه در دستگاه ایجاد شد. در هرکدام از سه نرخ تغذیه،

عملیات پس از شش تکرار بر بازده جداسازی پوست تأثیر کمی دارد (شکل ۵) می‌توان شش تکرار را تعداد مناسب در انجام عملیات جداسازی مغز بادام ذکر کرد. تامسون و همکاران نیز ۶ تا ۸ تکرار را تعداد مناسب تکرار عملیات جداسازی برای بادام بیان کرده‌اند (Thompson et al., 1996).

تأثیر تغییرات سرعت جریان هوا بر بازده جداسازی پوست و خطای جداسازی مغز

شکل ۶ تأثیر سرعت جریان هوا بر بازده جداسازی پوست را در شرایط $L=120$ میلی‌متر، $m=10$ گرم بر ثانیه، $n=6$ و $\alpha=30$ درجه نشان می‌دهد. از شکل دیده می‌شود که با تغییر سرعت جریان هوا از $6/5$ متر بر ثانیه تا $9/5$ متر بر ثانیه بازده جداسازی پوست از ۱۰٪ تا ۹۷٪ افزایش می‌یابد. این امر نشان دهنده این است که هر چه سرعت جریان هوا بالاتر باشد پوست بیشتری از مخلوط جدا خواهد شد. با این وجود خطای جداسازی مغز (مغز مشاهده شده در خروجی پوست‌ها) نیز یک عامل تأثیر گذار در انتخاب سرعت مناسب جریان هوای دمنده است. از شکل ۶ دیده می‌شود که با افزایش سرعت جریان هوا تا $7/5$ متر بر ثانیه بازده جداسازی پوست، بدون وقوع خطای جداسازی مغز افزایش می‌یابد اما با بیشتر شدن سرعت جریان هوا از این مقدار، شاهد خطای جداسازی مغز خواهیم بود. این امر به نحوی است که در سرعت جریان هوای $9/5$ متر بر ثانیه خطای جداسازی مغز ۱۰٪ به دست می‌آید. خطای ۱۰٪ در جداسازی محصول گران‌بهایی چون مغز بادام خطای بالایی است و بیان‌گر از دست رفتن مقدار زیادی از محصول هدف هنگام عملیات جداسازی است. افزایش همزمان خطا و بازده جداسازی در اثر افزایش سرعت جریان هوا در جداسازی محصول گندم از کاه از سوی (Panasiewicz et al., 2008) و برای محصول ذرت از سوی (Farran & Macmillan, 1979) گزارش شده است. با توجه به این که بازده جداسازی پوست در سرعت جریان هوای $8/5$ متر بر ثانیه و $9/5$ متر بر ثانیه مقدار مناسبی است، می‌توان راه‌حلی برای کاهش خطای جداسازی مغز در این سرعت‌های جریان هوا در نظر داشت. بدین جهت پیشنهاد می‌شود که ابتدا عملیات جداسازی در سرعت جریان هوا بالا و تکرار پایین (برای مثال وضعیت سرعت جریان هوای $9/5$ متر بر ثانیه در

از شکل به وضوح دیده می‌شود که در وضعیت $V_a=9/5$ متر بر ثانیه و $n=1$ بازده جداسازی پوست بیشتر از شرایط $V_a=8/5$ متر بر ثانیه، $n=8$ و شرایط $V_a=7/5$ متر بر ثانیه، $n=8$ و به طور تقریبی برابر با وضعیت $V_a=8/5$ متر بر ثانیه، $n=3$ است. به عبارت دیگر در تکرار اول با سرعت جریان هوای $9/5$ متر بر ثانیه بازده جداسازی پوست برابر است با ۷۲٪، در حالی که در تکرار سوم با سرعت جریان هوای $8/5$ متر بر ثانیه، بازده جداسازی پوست برابر است با ۶۷٪ و در تکرار هشتم برای سرعت‌های جریان هوای $6/5$ متر بر ثانیه، $7/5$ متر بر ثانیه و $9/5$ متر بر ثانیه بازده جداسازی پوست به ترتیب برابر با ۹۳٪، ۴۳٪ و ۷۰٪ است.



شکل ۵- تأثیر تعداد تکرار عملیات بر بازده جداسازی پوست در پنج سرعت مختلف جریان هوا

$\{L=120$ میلی‌متر، $m=10$ گرم بر ثانیه و $\alpha=30$ درجه}

این امر نشان‌گر تأثیرپذیری بالای عملیات جداسازی از سرعت جریان هوای دمنده است. بر این اساس نتیجه‌گیری می‌شود که برای رسیدن به یک بازده جداسازی پوست مشخص، تکرار عملیات جداسازی در سرعت جریان هوا بالا، کمتر از سرعت جریان هوای کم است. نتایج همچنین نشان داد که با افزایش تعداد تکرار در هر پنج سرعت جریان هوا، بازده جداسازی پوست افزایش می‌یابد هر چند تغییرات بازده جداسازی پوست با افزایش تکرارها سیر صعودی دارد، اما نرخ افزایش آن در تکرارهای مختلف یکسان نیست. با توجه به این که تکرار

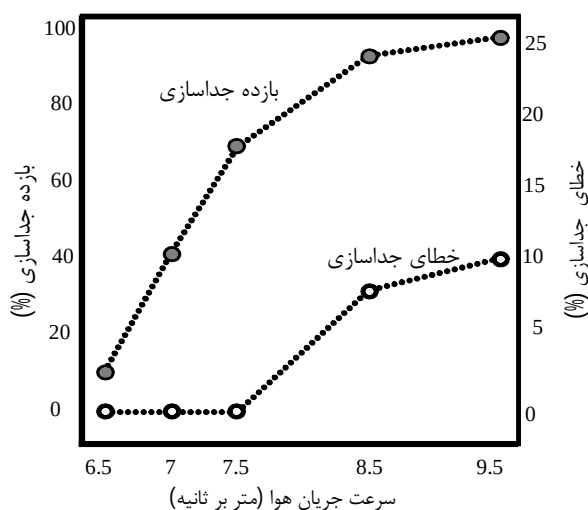
قرار دارد. افزایش بازده جداسازی با کاهش زاویه ورود مخلوط برای محصول ذرت نیز گزارش شده است (Farran & Macmillan, 1979). علت افزایش بازده جداسازی پوست با کاهش زاویه ورود را به این صورت می‌توان بیان کرد که کاهش زاویه ورود، سبب کاهش نرخ حرکت اجزای مخلوط در عرض تونل دستگاه می‌شود و سبب کاهش تراکم مواد در مقابل جریان هوا شده و همچنین سبب افزایش اثرگذاری جریان هوا بر اجزای مخلوط شده و بالطبع باعث افزایش بازده جداسازی پوست می‌شود.

از شکل ۷ همچنین نتیجه می‌شود که افزایش فاصله ورودی مخلوط تا خروجی مغز سبب کاهش میزان بازده جداسازی پوست می‌شود. و به این دلیل است که افزایش فاصله ورود مخلوط تا خروجی مغز سبب افزایش زمان حضور مخلوط پوست و مغز در مسیر جریان هوای دستگاه می‌شود. این افزایش زمان سبب افزایش تراکم مخلوط مقابل جریان هوا شده و از این طریق بازده جداسازی پوست را کاهش می‌دهد. نتایج بررسی انجام شده روی دانه‌های برنج نیز نشان داد با افزایش فاصله سقوط مواد، میزان جداسازی دانه‌های برنج کاهش می‌یابد (Kashayap & Pandya, 1966).

همچنین از شکل ۷ نتیجه می‌شود که کاهش نرخ تغذیه مخلوط به دستگاه سبب افزایش بازده جداسازی پوست می‌شود. کاهش میزان بازده جداسازی پوست با افزایش نرخ تغذیه برای سویا (Murilo et al., 2009) و ذرت (Farran & Macmillan, 1979) نیز گزارش شده است. دلیل کاهش بازده جداسازی پوست با افزایش نرخ تغذیه را می‌توان افزایش حضور مواد در مسیر جریان هوای دستگاه در واحد زمان بیان کرد.

شایان ذکر است که نرخ تغذیه زمان عملیات را تحت تأثیر قرار می‌دهد. بر این اساس شکل ۸ تغییرات بازده جداسازی پوست را در برابر زمان طی شده برای انجام شش تکرار عملیات در سه نرخ تغذیه مختلف نشان می‌دهد. از شکل به وضوح دیده می‌شود که با افزایش نرخ تغذیه، زمان طی شده برای عملیات جداسازی کاهش می‌یابد این در حالی است که بر اساس شکل ۷ افزایش نرخ تغذیه کاهش بازده جداسازی پوست را به دنبال دارد. از این رو برتری هر کدام از نرخ‌های تغذیه نسبت به یکدیگر، به اولویت‌های اقتصادی انجام عملیات جداسازی، شامل زمان طی شده، استفاده کمتر از نیروی کارگری و یا

تکرار سوم) انجام شود. این عمل سبب جداسازی قریب به ۹۵٪ پوست‌ها می‌شود. اما پوست جدا شده دارای مقداری مغز بادام (خطای جداسازی ۱۰٪) خواهد بود. از این رو می‌توان عملیات جداسازی را روی خروجی پوست‌ها که شامل مغز بادام است با سرعت جریان هوای پایین‌تر و در تعداد تکرار بیشتر (برای مثال تکرار ششم در سرعت جریان هوای ۷/۵ متر بر ثانیه) که دارای خطای جداسازی مغز صفر است انجام داد. شایان ذکر است که می‌توان عملیات جداسازی را از ابتدا در سرعت جریان هوای پایین و تکرار بالا انجام داد. انتخاب هر کدام از روش‌ها بستگی به عوامل اقتصادی از جمله قیمت مغز و انرژی مصرف شده برای انجام جداسازی دارد.



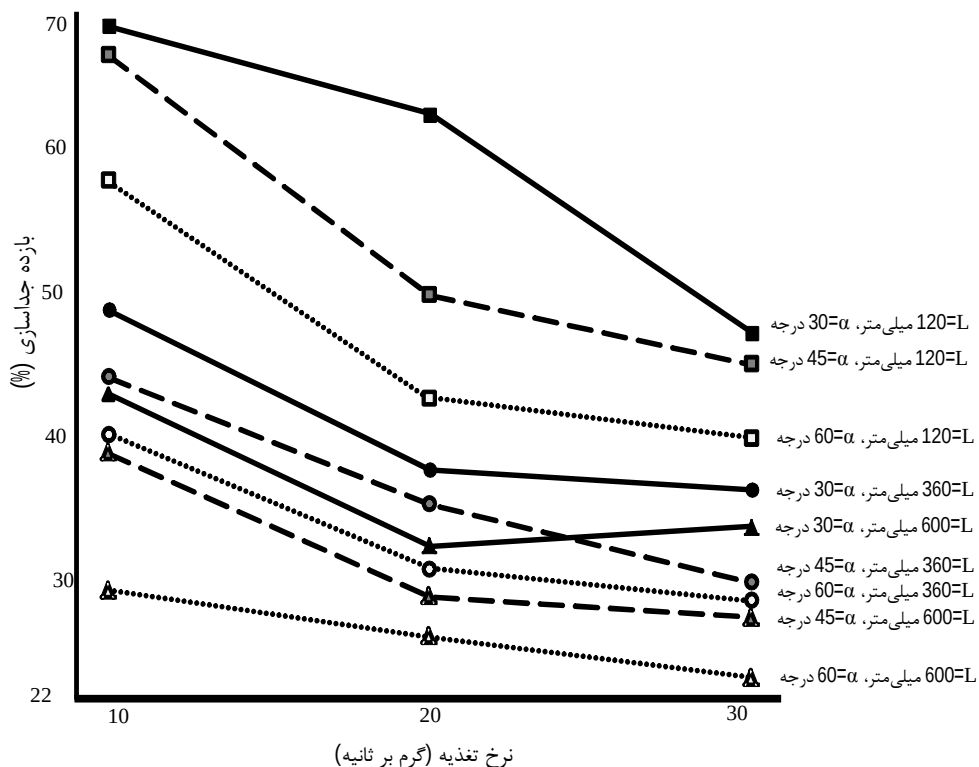
شکل ۶- تأثیر سرعت جریان هوا بر بازده و خطای جداسازی
($L=120$ میلی‌متر، $m=10$ گرم بر ثانیه و $\alpha=30$ درجه)

تأثیر زاویه ورود مخلوط، فاصله ورود مخلوط تا

خروجی مغز و نرخ تغذیه بر بازده جداسازی پوست

شکل ۷ نشان دهنده تأثیر تغییرات زاویه ورود مخلوط، فاصله ورود مخلوط تا خروجی مغز و نرخ تغذیه مخلوط بر بازده جداسازی در تکرار ششم سرعت جریان هوای ۷/۵ متر بر ثانیه است. نتایج نشان داد که با افزایش زاویه ورود مخلوط به دستگاه، میزان بازده کاهش می‌یابد. به عبارت دیگر بیشترین بازده مربوط به زاویه ورود ۳۰ درجه بوده و کمترین بازده در زاویه ورود ۶۰ درجه اتفاق می‌افتد. در تمام حالت‌ها انجام آزمایش، داده‌های مربوط به زاویه ورود ۴۵ درجه مابین داده‌های حاصل شده از دو زاویه دیگر

امکان استفاده از تجهیزات با ابعاد بزرگ‌تر بستگی دارد.

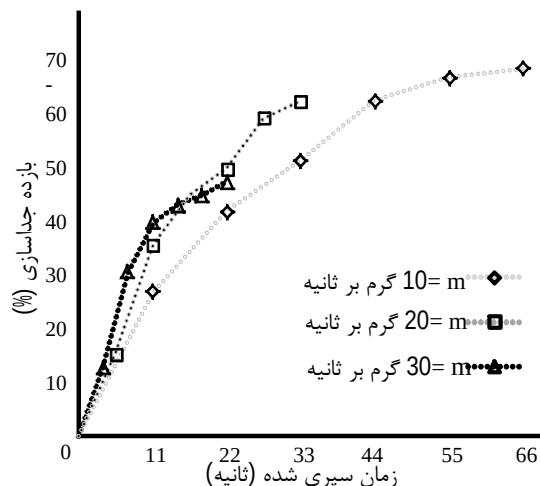


شکل ۷- تأثیر نرخ تغذیه، زاویه ورود مخلوط و فاصله بین ورودی مخلوط تا خروجی مغز بر بازده جداسازی تکرار ششم، سرعت جریان هوای ۷/۵ متر بر ثانیه

گروه‌بندی انجام شده برای مخلوط اولیه در شکل ۹ آورده شده است). این بازده جداسازی به این معنی است که ۳۲/۶٪ پوست موجود در مخلوط اولیه از مغز جدا نشده است. نتایج بررسی اجزای این میزان پوست جداسازی نشده در شکل ۱۰ آورده شده است. همان‌طور که مشخص است ۷۵٪ پوست‌ها متعلق به گروه (۲) هستند. این داده‌ها بیان‌گر این واقعیت است که می‌توان وجود پوست‌های متوسط را به عنوان یکی از عوامل محدود کننده بهبود جداسازی دانست.

تأثیر اندازه پوست‌ها بر بازده جداسازی

عملیات جداسازی در شرایط $L=120$ میلی‌متر، $V_a=7/5$ متر بر ثانیه، $m=10$ گرم بر ثانیه و $\alpha=30$ درجه روی مخلوط انجام شد که بازده جداسازی پوست ۶۸/۴٪ و خطای جداسازی ۰٪ به دست آمد. (درصد جرمی گروه‌بندی انجام شده برای مخلوط اولیه در شکل ۹ آورده شده است). این بازده جداسازی به این معنی است که ۳۲/۶٪ پوست موجود در مخلوط اولیه از مغز جدا نشده است. نتایج بررسی اجزای این میزان پوست جداسازی



شکل ۸- تغییرات بازده جداسازی پوست در برابر زمان طی شده در انجام شش تکرار برای سه نرخ تغذیه

{ $L=120$ میلی‌متر، $V_a=7/5$ متر بر ثانیه و $\alpha=30$ درجه}

تأثیر اندازه پوست‌ها بر بازده جداسازی

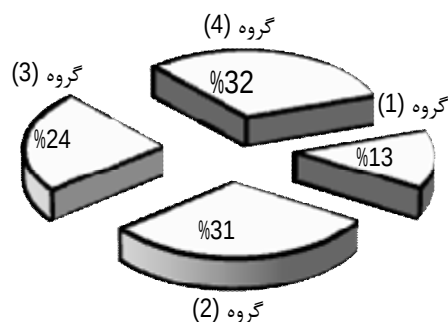
عملیات جداسازی در شرایط $L=120$ میلی‌متر، $V_a=7/5$ متر بر ثانیه، $m=10$ گرم بر ثانیه و $\alpha=30$ درجه روی مخلوط انجام شد که بازده جداسازی پوست ۶۸/۴٪ و خطای جداسازی ۰٪ به دست آمد. (درصد جرمی

پوست کاهش می‌یابد. افزایش فاصله بین محل ورود مخلوط تا خروج مغز سبب کاهش بازده جداسازی می‌شود. به طوری که بیشترین بازده در کمترین طول اتفاق می‌افتد. با تحلیل مخلوط نهایی خروجی از دستگاه، مشخص شد که جداسازی پوست‌هایی با طول بین ۲۰ میلی‌متر تا ۳۰ میلی‌متر به خوبی انجام نشده است. پس در صورت انتخاب روش پنوماتیک برای جداسازی مغز بادام از تکه‌های پوست چوبی، می‌توان در مرحله شکستن هسته بادام از به وجود آمدن پوست‌هایی با طول متوسط دوری کرد. بر این اساس باید به طراحی بهینه بادام شکن‌های موجود جهت حذف پوست‌هایی با طول بین ۲۰ تا ۳۰ میلی‌متر را توجه کرد.

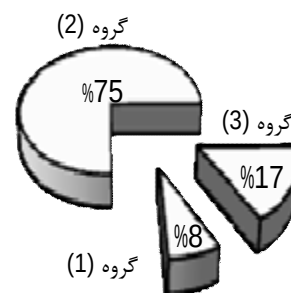
منابع

1. Aydin, C. 2003. Physical properties of almond nut and kernel. Journal of Food Engineering, 60: 315-320.
2. Ebrahimi, R. and Aarabi, Mj. 2011. Study on the separation of almond kernel from its cracked shell in vertical and horizontal air-stream. In: 2nd National almond symposium: focus on export, 9-10 october, Shahrekord, Iran, pp. 89-93 (In Farsi).
3. El-Sayed, A., Yahaya, R., Wacke, P. and Kutzbach, h. 2001. Characteristic attributes of the peanut (*Arachis hypogaea* L.) for its separation. International Agrophysics, 15: 225-230.
4. Farran, T. G. and Macmillan, R. H. 1979. Grain-chaff separation in a vertical air stream. Journal of Agricultural Engineering Research, 24: 1-115.
5. Food and Agriculture Organization. 2016. Statistics: Faostat-Agriculture, Production, Crops. retrieved from: <http://www.faostat.fao.org>
6. Gorial, B. Y. and O'Callaghan, J. R. 1991. Separation of grain from straw in a vertical air stream. Journal Agricultural Engineering Research, 48: 111-122.
7. Kashayap, M. M. and Pandya, A. C. 1966. Air velocity requirement for winnowing operations. Journal of Agricultural Engineering Research, 11(1): 24-32.
8. Mohammadi, A. 2011. Study of physical properties of almond (Shahrod12 and Mami cultivars). In: 2nd National almond symposium: focus on export, 9-10 october, Shahrekord, Iran, pp. 89-93. (In Farsi).
9. Murilo, D. M. Innocentini., Wellington, S. Barizan., Maicon, O. Alves. and Reinaldo, Pisani Jr. 2009. Pneumatic separation of hulls and meats from cracked soybeans.

نشده در شکل ۱۰ آورده شده است. همان‌طور که مشخص است ۷۵٪ پوست‌ها متعلق به گروه (۲) هستند. این داده‌ها بیان‌گر این واقعیت است که می‌توان وجود پوست‌های متوسط را به عنوان یکی از عوامل محدود کننده بهبود جداسازی دانست.



شکل ۹- درصد جرمی گروه‌ها در مخلوط اولیه



شکل ۱۰- درصد جرمی گروه‌های پوست جداسازی نشده

نتیجه‌گیری

جداسازی پنوماتیکی مغز بادام رقم (مامایی) از تکه‌های پوست چوبی تحت تأثیر تغییرات سرعت جریان هوای دستگاه، نرخ تغذیه مخلوط، زاویه ورود مخلوط به دستگاه و فاصله بین محل ورود مخلوط تا خروج مغز قرار می‌گیرد. همچنین تکرار عملیات نیز میزان بازده جداسازی را تحت‌الشعاع قرار می‌دهد. با افزایش سرعت جریان هوا، میزان جداسازی پوست از مغز افزایش می‌یابد اما با افزایش سرعت جریان هوا بیش از ۷/۵ متر بر ثانیه خطا در عملیات جداسازی (مشاهده مغز در خروجی پوست‌ها) مشاهده می‌شود. با افزودن بر تعداد تکرار عملیات، بازده جداسازی پوست سیر صعودی به خود می‌گیرد. میزان افزایش بازده جداسازی پوست تا تکرار ششم میزان زیادی است، اما پس از تکرار ششم تغییرات بازده جداسازی پوست در مقابل افزایش تعداد تکرارها چندان مهم نیست. با افزایش زاویه ورود مخلوط به تونل هوا، بازده جداسازی

- Food and Bioproducts Processing, 87: 237-246.
10. Panasiewicz, M. Zawslak, K. Kusinska, E. and Sobczak, P. 2008. Purification and separation of loose materials in a pneumatic system with vertical air stream. Teka - Commission of Motorization and Power Industry in Agriculture, 8: 171-176.
 11. Salem, J. 2011. Investigating iran status in production and world trade of almond. In: 2nd National almond symposium: focus on export, 9-10 october, Shahrekord, Iran, pp. 89-93 (In Farsi).
 12. Smith, R. D. and Stroshine R. L. 1985. Aerodynamic Separation of Cobs from Corn Harvest Residues. American society of Agricultural Engineers. 28(3): 893-902.
 13. Thompson, J. F. Rumsey, T. R. Connell, J. H. 1996. Almond production manual. Drying Hulling and Shelling. University of California. Division of Agriculture and Natural Resource, 268-273.