

بررسی عوامل مؤثر بر میزان پودرشدگی هسته خرما در آسیاب مدل

مجتبی کرم پور بهبهانی^۱، رسول معمار دستجردی^{۲*}، مجید رهنما^۲ و مهدی سعادت فرد^۲

۱ و ۲- به ترتیب دانش آموخته کارشناسی ارشد و استادیاران گروه ماشین‌های کشاورزی و مکانیزاسیون، دانشکده مهندسی زراعی و عمران روستایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، اهواز، ایران
تاریخ دریافت: ۹۷/۱۰/۸؛ تاریخ پذیرش: ۹۸/۵/۲۰

چکیده

خرما از مهم‌ترین محصولات صادراتی کشور ایران است. هسته خرما حدود ۱۰ درصد وزن کل خرما را تشکیل می‌دهد و می‌تواند پس از آسیاب شدن برای تغذیه دام به‌کار رود یا در بسیاری از کارگاه‌های فرآوری خرما در صنایع تبدیلی و شیرینی سازی به‌کار رود. هدف از این پژوهش، بررسی اثر سرعت دورانی، میزان تغذیه و دما بر میزان پودرشدگی هسته خرما در آسیاب مدل است. دستگاه از قسمت‌های شاسی، موتور، واحد تغذیه، واحد آسیاب با دو نوع تیغه مورب و عمودی و واحد الک تشکیل می‌شود. پس از ساخت دستگاه، تأثیر عوامل سرعت دورانی تیغه، نوع تیغه، میزان تغذیه و دما روی ویژگی‌های فیزیکی (میزان هسته‌های ترک‌خورده، نیمه خرد شده، خرد شده کامل و پودر شده) و ویژگی‌های شیمیایی (میزان پروتئین، روغن، خاکستر و فیبر) هسته خرما بررسی شد. آزمایش‌ها به دو دسته تقسیم شدند. آزمایش‌های دسته اول به منظور بررسی تأثیر سرعت در سه سطح (۲۴۰۰، ۲۶۰۰ و ۲۸۰۰ دور در دقیقه)، دو نوع تیغه (عمودی و مورب) و سه سطح دما (۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ درجه سلسیوس) روی میزان پودرشدگی در میزان تغذیه ثابت ۷۰۰ گرم انجام گرفت. پس از تعیین سرعت، نوع تیغه و دمای مطلوب آزمایش‌های دسته دوم به منظور بررسی تأثیر میزان تغذیه ۷۰۰، ۱۲۰۰ و ۱۷۰۰ گرم روی میزان پودرشدگی به صورت طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار اجرا شدند. در تمام آزمایش‌ها مدت زمان آسیاب کردن ثابت و برابر یک دقیقه بود. نتایج آزمایش‌های دسته اول نشان داد که تأثیر دما، سرعت دورانی تیغه‌ها و نوع تیغه و اثر متقابل آنها بر همه ویژگی‌های فیزیکی مورد بررسی در سطح ۱ درصد معنی‌دار هستند. نتایج آزمایش‌های دسته دوم مشخص کرد که بهترین میزان تغذیه ۷۰۰ گرم است. بیشترین میزان پودرشدگی در سرعت دورانی ۲۸۰۰ دور در دقیقه، میزان تغذیه ۷۰۰ گرم، دمای ۱۵۰ درجه سلسیوس و توسط تیغه مورب ایجاد شد. از میان خواص شیمیایی، تنها دما در سطح ۱ درصد بر میزان پروتئین پودر هسته خرما معنی‌دار بود.

کلید واژه‌ها

آسیاب تیغه‌ای، خواص فیزیکی، خواص شیمیایی، ضایعات، محصولات جانبی فرآوری

مقدمه

خرما به دلیل رطوبت و چسبندگی بالا دارای ضایعات زیادی است و فقط حدود ۳۰ درصد از آن به عنوان خرما درجه یک مصرف می‌شود و بقیه آن را خرما درجه دو، سه و ضایعات تشکیل می‌دهد که از آنها می‌توان برای تولید فرآورده‌های جانبی و

خرما یکی از مهم‌ترین تولیدات ایران است. سطح کشت خرما در ایران حدود ۱۷۰ هزار هکتار و میزان تولید آن حدود یک میلیون و دویست هزار کیلوگرم در سال گزارش شده است (FAO, 2017).

تحقیقات در باره کاربرد پودر هسته خرما فراوان است. در پژوهشی، از کنجاله هسته خرما در جیره جوجه خروس‌های گوشتی استفاده و مشخص شد می‌توان کنجاله هسته خرما را تا ۱۵ درصد به کار برد بی آنکه اثر منفی داشته باشد (Kheiri *et al.*, 2011). المانا و محمود (Almana & Mahmoud, 1994) پودر هسته خرما را به عنوان منبع فیبرهای غذایی به جای سیبوس گندم در تولید نان ارزیابی و پیشنهاد کردند که هسته خرما می‌تواند منبع با ارزشی برای دریافت فیبرهای غذایی باشد. فالول و همکاران (Fahloul *et al.*, 2010) نیز پودر خرما را به جای ساکارز در تهیه بیسکویت معرفی کردند. نتایج حاصل از پژوهش‌ها بیانگر وجود مقادیر زیادی فیبرهای غذایی در هسته خرماست که از نظر تغذیه‌ای بسیار مفید هستند. این ترکیبات علاوه بر تأثیر مطلوبشان در تنظیم حرکات درون روده‌ها، خاصیت آنتی‌اکسیدانی هم دارند (El-Shurafa *et al.*, 1982, Shokrollahi *et al.*, 2015)

از دیگر ترکیبات عملکردی هسته خرما می‌توان به سلنیم^۳ اشاره کرد. این ترکیب می‌تواند به عنوان آنتی‌اکسیدان برای درمان بیماری‌های انسان به کار رود (Al-Showiman *et al.*, 1994). یکی از مهم‌ترین بخش‌های تهیه مواد غذایی دام‌ها، خرد و آسیاب کردن محصولات دانه‌ای و مواد علوفه‌ای است. در اغلب موارد، از آسیاب‌های چکشی^۴ برای خرد کردن استفاده می‌شود؛ در صنایع آردسازی فقط برای گندم از آسیاب‌های غلتکی^۵ استفاده می‌شود (Ghazanfari Moghdam *et al.*, 2011). پژوهشی، برای خرد کردن دانه‌هایی مانند ذرت، ارزن، ذرت گینه و محصولات با ابعاد بزرگ‌تر مانند سیب‌زمینی، لوبیا، و غیره، دستگاه آسیاب چکشی ساخته شد. بر اساس نتایج آزمایش‌ها، بازده دستگاه

به دنبال آن محصولاتی با ارزش افزوده بالاتر استفاده کرد.

یکی از بخش‌های مهم خرما، هسته آن است که از دیرباز از آن برای تغذیه دام استفاده می‌شود. معمولاً به هسته خرما پیت^۱ و در برخی کشورها استون^۲ می‌گویند. هسته خرما بر حسب رقم و شرایط رشد، دارای وزنی کمتر از ۰/۵ تا ۴ گرم است که ۱۰ درصد وزن کل میوه را تشکیل می‌دهد. طول تقریبی هسته خرما ۱۲ تا ۳۶ میلی‌متر، پهنای آن ۶ تا ۱۳ میلی‌متر، شکل آن کشیده است و از سمت شکم یک شیار طولی دارد (Akbari *et al.*, 2013). ترکیبات هسته، رطوبت، پروتئین، فیبر خام، کربوهیدرات‌ها و خاکستر است و قسمت عمده هسته را سلولز تشکیل می‌دهد (Besbes *et al.*, 2004). هسته خرما به‌عنوان ضایعات در بسیاری از کارگاه‌های فرآوری خرما مانند کارگاه تهیه شیره، قند، اسید سیتریک و الکل به دست می‌آید و به‌صورت خرما نامرغوب زیر درختی نیز تولید می‌شود (Besbes *et al.*, 2004, El-Shurafa *et al.*, 1982).

هسته خرما به علت داشتن مواد قندی قابل توجه آن می‌تواند بعد از آسیاب شدن با سایر علوفه دام‌ها مانند ذرت، جو، یونجه و غیره، مخلوط و برای تغذیه دام‌ها استفاده شود. هسته خرما می‌تواند به‌عنوان ماده‌ای انرژی‌زا و منبعی از عناصر معدنی مثل پتاسیم، کلسیم و فسفر در جیره غذایی دام و طیور وارد شود؛ استفاده از این ماده غذایی به عنوان پسماند باغی می‌تواند از نظر هزینه مقرون به صرفه باشد. از هسته خرما می‌توان برای تهیه روغن صنعتی، نان، ماده اولیه شامپو، خوراک دام، کرین فعال، الکل‌های چرب، مواد شوینده و پاک‌کننده نیز استفاده کرد (Choo *et al.*, 1990).

1- Pit
3- Selenium
5- Roller mill

2- Stone
4- Hammer mill

نشان دادند که بهره‌وری متوسط دستگاه در شرایط عملیاتی خوب ۷۷/۵ درصد است. با توجه به موارد بیان شده، هدف کلی از این پژوهش، بررسی عوامل مؤثر بر میزان پودرشدگی هسته خرما و تأثیر این عوامل بر ویژگی‌ها کیفی پودر به دست آمده، است.

مواد و روش‌ها

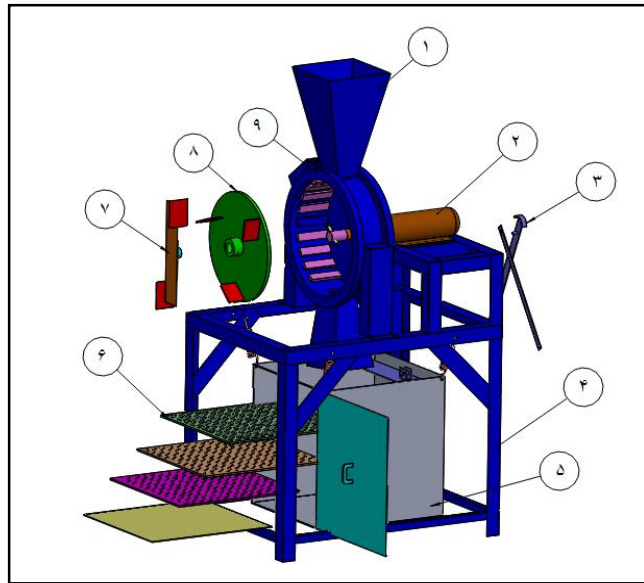
برای بررسی اثر سرعت دورانی، نوع تیغه، دما و میزان تغذیه بر میزان پودرشدگی هسته خرما ابتدا دستگاه آسیاب هسته خرما به طور کامل طراحی و ساخته شد. نمای کلی از طرح اولیه دستگاه آسیاب هسته خرما در شکل ۱ آورده شده است.

دستگاه آسیاب هسته خرما

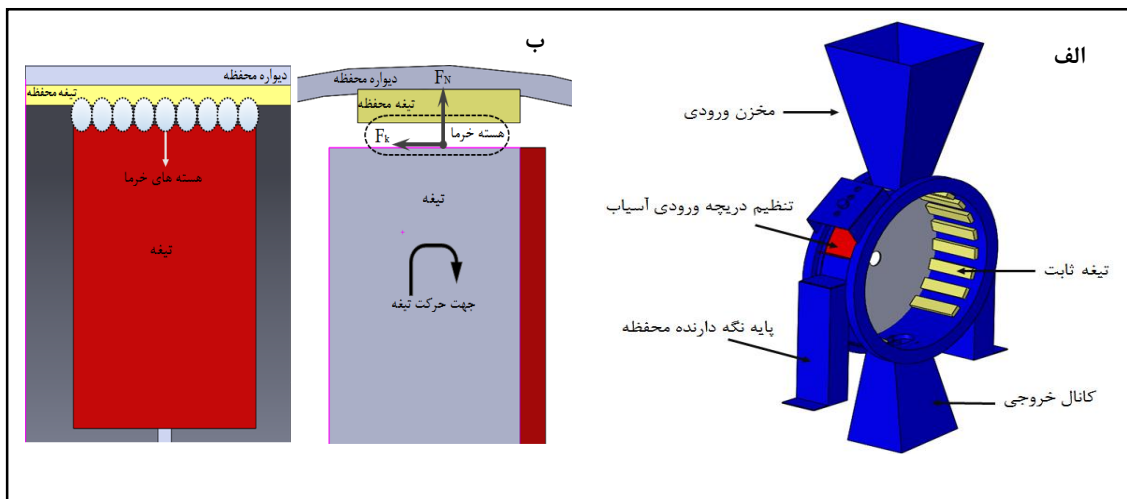
دستگاه ساخته شده مطابق شکل از بخش‌های متعددی تشکیل شده است. مخزن دستگاه با توجه به بیشترین مقدار نمونه مورد نیاز برای آزمایش‌ها، دارای ظرفیت ۱۷۰۰ گرم هسته خرماست. همچنین در خروجی مخزن برای دستیابی به میزان تغذیه مورد نیاز، دریچه‌ای کشویی چهار حالتی مطابق شکل ۲ تعبیه شد. محیط آسیاب به شکل دایره‌ای به قطر ۳۹ سانتی‌متر از فولاد به ضخامت ۴ میلی‌متر ساخته شد. آسیاب دارای مجرای ورودی به ابعاد ۶/۵×۶ سانتی‌متر و خروجی به ابعاد ۱۲/۵×۸ سانتی‌متر است. کانال خروجی محصول به شکل مخروط ناقص ساخته شد. محیط آسیاب روی شاسی به شکل مکعب مستطیل قرار گرفته است. برای به دام افتادن هسته‌های خرما بین تیغه‌های متحرک و دیواره محیط آسیاب، ایجاد اصطکاک بیشتر و آسیاب شدن بهتر آن‌ها، ۲۰ تسمه فلزی روی دیواره قرار داده شد که به‌عنوان تیغه‌های ثابت عمل می‌کنند (شکل ۲).

برای آسیاب ذرت ۹۴ درصد بود (Nasir, 2005). اندوکوی و اسوگوی (Ndukwu & Asoegwu, 2010) در بررسی عملکرد خردکن گریز از مرکز با شافت عمودی مخصوص هسته خرما، با دو پارامتر بازدهی خردکن و نسبت شکستگی هسته، که تابعی از سرعت تیغه‌های خردکن، رطوبت هسته‌ها و میزان تغذیه هستند، نشان دادند که برای پایین‌ترین سرعت (۱۶۵۰ دور در دقیقه) و بالاترین میزان تغذیه (۸۸۰ کیلوگرم در ساعت) و برای هر رطوبتی، بهره‌وری خردشدن بالاتر از ۶۵ درصد نبود، و اضافه کردند بهره‌وری با افزایش سرعت ماشین و کاهش میزان تغذیه افزایش می‌یابد. الگوگناگبا (Ologunagba, 2012) در ارزیابی دستگاه خردکن هسته خرما با شافت افقی نشان داد که بهترین عملکرد دستگاه در سرعت دورانی ۱۴۸۰ دور در دقیقه و رطوبت هسته‌ها به میزان ۹/۸۱ درصد رخ می‌دهد.

اومری و اوگنو (Omoruyi & Ugwu, 2015) در بررسی بهینه‌سازی و ارزیابی عملکرد ماشین شکستن هسته خرما نشان دادند مقدار رطوبت، سرعت روتور و میزان تغذیه از پارامترهای قابل توجه به‌منظور بهره‌وری ماشین‌آلات برای شکستن هسته خرما هستند. آدیسا و همکاران (Adisa et al., 2015) برای توسعه ماشین خردکن هسته خرما برای استفاده محلی با سرعت‌های دورانی متفاوت محور نشان دادند بهترین تأثیر بهره‌وری عملکرد و بهره‌وری کل در سرعت ۱۶۰۰ دور در دقیقه به ترتیب ۹۴/۷۵ و ۹۳/۳۲ درصد است. ابراهیم و همکاران (Ibrahim et al., 2016) در طراحی، ساخت و ارزیابی عملکرد دستگاه خردکن هسته خرما با شافت افقی در مقیاس کوچک و متوسط



شکل ۱- نمای کلی از طرح اولیه دستگاه آسیاب هسته خرما ۱- مخزن ۲- موتور ۳- محرک مجموعه الکها (پیرو) ۴- شاسی ۵- جعبه الکها ۶- الکها ۷- تیغه عمودی ۸- تیغه مورب ۹- محیط آسیاب



شکل ۲- محیط آسیاب (الف) و وضعیت تیغه‌ها و هسته‌های خرما در لحظه برخورد (ب)

تغییر دور موتور

برای تغییر در دور موتور و بررسی اثر این ویژگی در میزان پودرشدگی، از دستگاه اینورتر ۲ کیلووات مدل Delta-el ساخت تایوان استفاده شد. این دستگاه برق شهری تک فاز در دسترس را نیز به برق سه فاز مورد نیاز موتور تبدیل می‌کند.

تیغه‌های آسیاب به گونه‌ای طراحی و ساخته شد تا بتوانند هسته‌های خرما را بدون شکستن تیغه یا تغییر شکل آن، پودر کنند. برای دستگاه آسیاب هسته، برابر شکل ۱ دو نوع تیغه پیشنهاد شد، عمودی و مورب، و پس از محاسبه تنش‌ها، جنس آنها انتخاب و ساخته شد.

خشک کردن هسته خرما

پس از شستن هسته‌های خرما و خشک کردن آن در دمای محیط، برای بررسی اثر دما بر میزان پودر شدگی هسته خرما، هسته‌های خرما در سه دمای ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ درجه سلسیوس به مدت یک ساعت در دستگاه آون (مدل T.A.M U30) خشک شدند.

اندازه‌گیری ویژگی‌های شیمیایی پودر هسته خرما

میزان خاکستر مطابق استاندارد AOAC 942.05 با کوره مدل K24419 ساخت شرکت Koehler آمریکا و میزان پروتئین با روش کجلدال بر اساس استاندارد AOAC 920.87 اندازه‌گیری شد. فیبر خام نیز بر اساس روش AOAC 962.09 و با دستگاه مدل Infracont KFT ساخت مجارستان تعیین شد (AOAC, 2000).

اندازه‌گیری روغن

روغن با دستگاه سوکسله مدل ۴۰۷، ساخت ژاپن و حلال هگزان استخراج شد. برای این کار، ۲۰ گرم نمونه درون دستگاه قرار داده شد و بر مبنای روش بس بس و همکاران (Besbes *et al.*, 2004) با ۱۰ تکرار مقدار روغن مورد نیاز استخراج شد.

پیاده‌سازی طرح آزمایش‌ها

در این تحقیق، تأثیر دما، سرعت دورانی تیغه‌ها، میزان تغذیه و نوع تیغه به‌عنوان پارامترهای متغیر بر میزان پودر شدن و خواص شیمیایی پودر هسته خرما بررسی شد. آزمایش‌ها به دو دسته تقسیم شدند؛ آزمایش‌های دسته اول برای بررسی تأثیر سرعت در سه سطح (۲۴۰۰، ۲۶۰۰ و ۲۸۰۰ دور در دقیقه)، نوع تیغه (عمودی و مورب) و دما (۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ درجه سلسیوس) روی میزان پودرشدگی در میزان تغذیه ثابت ۷۰۰ گرم در نظر گرفته شدند؛

این آزمایش‌ها به‌صورت فاکتوریل و در قالب طرح آماری کاملاً تصادفی با سه تکرار اجرا شدند. پس از تعیین سرعت، نوع تیغه و دمای مطلوب، آزمایش‌های دسته دوم برای بررسی تأثیر میزان تغذیه (۷۰۰، ۱۲۰۰ و ۱۷۰۰ گرم) روی میزان پودرشدگی به صورت طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار دنبال شد. در تمام آزمایش‌ها مدت زمان آسیاب کردن ثابت و برابر با یک دقیقه بود. داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SPSS 23 تجزیه و تحلیل و نمودارها با نرم‌افزار Excel ۲۰۱۳ رسم شدند. میانگین‌ها با آزمون دانکن در سطح یک درصد و پنج درصد با یکدیگر مقایسه شدند. برای رسم قطعات مورد نیاز برای طراحی دستگاه از نرم‌افزار Solid works 2015 استفاده شد.

نتایج و بحث

تجزیه واریانس میانگین داده‌های حاصل از تغییرات دما، سرعت و تیغه بر میزان هسته‌های ترک‌خورده، نیمه خرد شده، خرد شده کامل و پودر شده در جدول ۱ آورده شده است. مطابق جدول ۱، تأثیر دما، سرعت و تیغه و اثر متقابل آنها، به‌جز تأثیر متقابل تیغه × دما، بر میزان هسته‌های ترک‌خورده در سطح ۱ درصد معنی‌دار شده است.

اثر متقابل سه‌گانه سرعت، دما و تیغه بر میزان

ترک‌خوردگی هسته‌های خرما

مطابق شکل ۵، در هر دو نوع تیغه عمودی و مورب در هر سه سطح دمای ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ درجه سلسیوس با افزایش سرعت، میزان هسته‌های ترک‌خورده کاهش می‌یابد که این به معنای افزایش میزان هسته‌های نیمه خرد شده، خرد شده کامل و پودر شده است. همچنین مشاهده شد که در هر سطح دما و سرعت، میزان هسته‌های ترک‌خورده در تیغه عمودی بیشتر است تا در تیغه‌های مورب. با

بررسی عوامل مؤثر بر میزان پودرشدگی هسته...

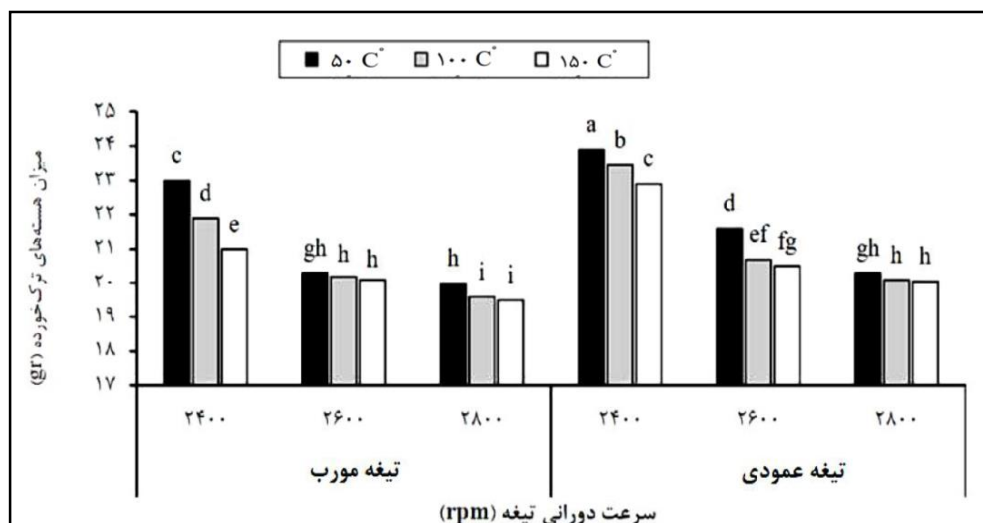
در دقیقه، ۵۰ درجه سلسیوس و تیغه عمودی است. کمترین میزان ترک خوردگی در سرعت ۲۸۰۰ دور در دقیقه، ۱۵۰ درجه سلسیوس و تیغه مورب به میزان ۱۸/۹ گرم (۲/۷ درصد) دیده می‌شود. اومری و اوگنو (Omoruyi & Ugwu, 2015) نشان دادند که میزان هسته‌های خرما ترک‌خورده و نیمه‌خرد شده در بالاترین سرعت (۲۶۰۰ دور در دقیقه)، نسبت به سرعت ۲۲۰۰ و ۲۴۰۰ دور در دقیقه کمتر است.

افزایش سرعت حرکت تیغه‌ها و دما، هسته‌های ترک‌خورده کاهش و به تبع آن هسته‌های خرد شده افزایش می‌یابد. در سرعت‌های بالاتر، به علت شدت حرکت هسته‌ها و همچنین لرزش و نوسان دستگاه، تأثیر چسبندگی هسته‌ها با دیواره و قطعات کمتر است و در نتیجه تأثیر دما کم می‌شود. با توجه به شکل ۵، بیشترین میزان هسته‌های ترک‌خورده خرما، ۲۴ گرم (۳/۴ درصد)، در سرعت ۲۴۰۰ دور

جدول ۱- تجزیه واریانس تأثیر تیمارهای آزمایش بر میزان هسته‌های ترک‌خورده، نیمه‌خرد شده، خرد شده کامل و پودر شده

میانگین مربعات صفات مورد مطالعه				درجه آزادی	منابع تغییرات
پودر شده	خرد شده کامل	نیمه‌خرد شده	ترک‌خورده		
۵۹۸۸/۵۱**	۱۲۱۲/۵۷**	۱۰۳۷۷/۰۹**	۲/۷۹۴**	۲	دما
۲۹۸۴۱/۸۹**	۱۰۲۶۹/۸۳**	۱۱۶۱/۷۲**	۳۵/۵۸۷**	۲	سرعت
۴۶۱۷۵/۲۲**	۳۷۵۸/۸۳**	۴۴۱۲/۰۶**	۹/۱۳۴**	۱	تیغه
۲۴۴۳/۲۸**	۲۰۸۲/۸۶**	۵۳۹/۶۹**	۰/۷۱۹**	۴	سرعت × دما
۳۹۰۹/۴۲**	۲۲۶۸/۸۷**	۷۶۹/۲۸**	۰/۰۰۱ ^{ns}	۲	تیغه × دما
۴۴۵/۵۶**	۶۹۲۳/۰۴**	۲۵۵/۵۹۶**	۱/۹۶۶**	۲	تیغه × سرعت
۳۳۹۴/۵۲**	۵۳۶۵/۹۶**	۶۷۸/۹۳**	۰/۳۴۴**	۴	تیغه × سرعت × دما
۱۰۵۹/۱۵	۴۷۰۳/۴۷	۸۹۶/۹۳	۰/۰۳۳	۳۶	خطای آزمایش
۱/۹۴	۵/۲۴	۹/۳۴	۱۶/۵۰		ضریب تغییرات (درصد)

ns: به ترتیب بیانگر معنی‌دار نبودن و معنی‌دار بودن در سطح ۱ درصد است.

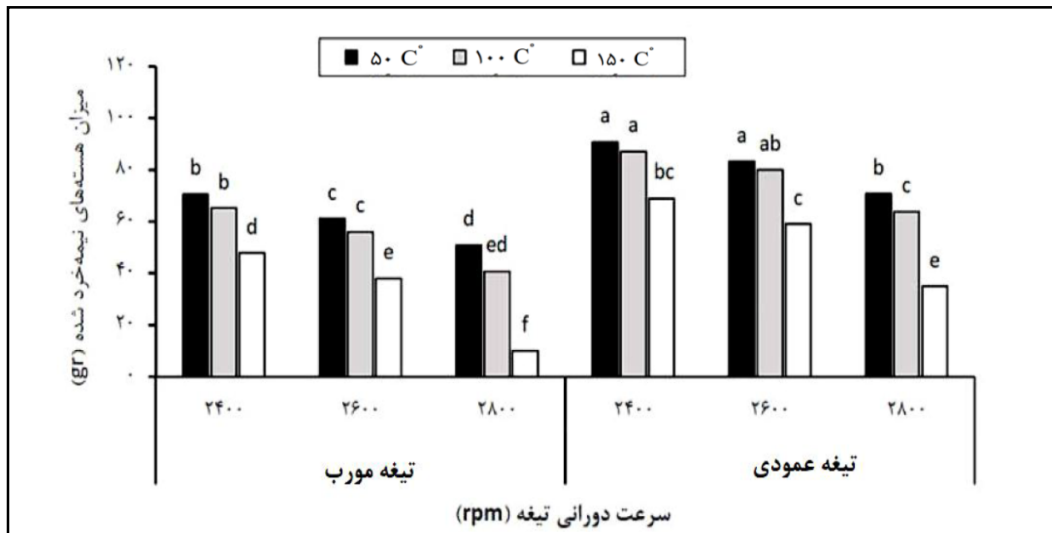


شکل ۵- نمودار اثر سرعت، دما و تیغه بر میزان هسته‌های ترک‌خورده

اثر متقابل سه گانه سرعت، دما و نوع تیغه بر میزان هسته‌های نیمه‌خرد شده

مطابق شکل ۶، در هر دو نوع تیغه استفاده شده با افزایش سرعت دورانی و دما میزان هسته‌های نیمه‌خرد شده، کاهش و میزان هسته‌های خرد شده کامل افزایش پیدا می‌کند. با افزایش دما، میزان چسبندگی هسته‌های خرما با تیغه کاهش می‌یابد، تیغه‌های مورب به دلیل شکل و زاویه‌شان، نیروی بیشتری به هسته‌ها اعمال می‌کنند و در نتیجه در تیغه‌های مورب و دماهای بالاتر مقدار هسته نیمه

خرد شده کمتر و مقدار هسته خرد شده کامل بیشتری وجود دارد که با نتایج تحقیق اندکو و آسوگو (Ndukwu & Asoegwu, 2010) همخوانی دارد. بیشترین میزان هسته‌های نیمه‌خرد شده، ۹۰/۳ گرم (۱۲/۹ درصد)، در هنگام استفاده از تیغه عمودی و در سرعت ۲۴۰۰ دور در دقیقه و دمای ۵۰ درجه سلسیوس رخ می‌دهد و کمترین آن به میزان ۹/۸ گرم (۱/۴ درصد) در سرعت ۲۸۰۰ دور در دقیقه، دمای ۱۵۰ درجه سلسیوس و در تیغه مورب مشاهده می‌شود.

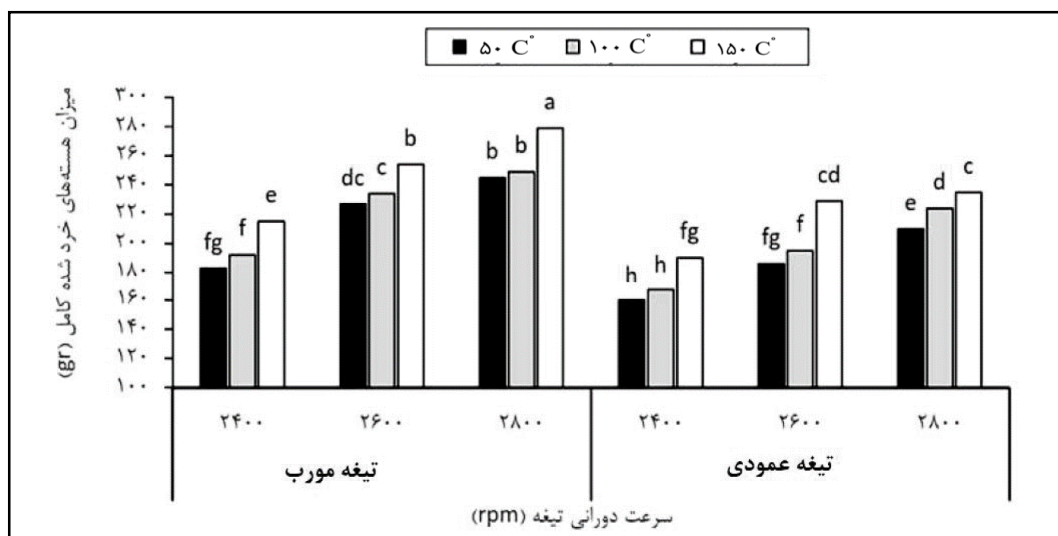


شکل ۶- نمودار اثر سرعت، دما و تیغه بر میزان هسته‌های نیمه‌خرد شده

تأثیر متقابل سه گانه سرعت، دما و تیغه بر میزان هسته‌های خرد شده کامل

مطابق شکل ۷، در هر دو نوع تیغه عمودی و مورب در هر سرعت دورانی با افزایش دما میزان هسته‌های خرد شده کامل افزایش می‌یابد. در هر دو نوع تیغه و در تمام دماها نیز با افزایش سرعت دورانی میزان هسته‌های خرد شده کامل بیشتر می‌شود که با نتایج تحقیقات اوچلو و همکاران

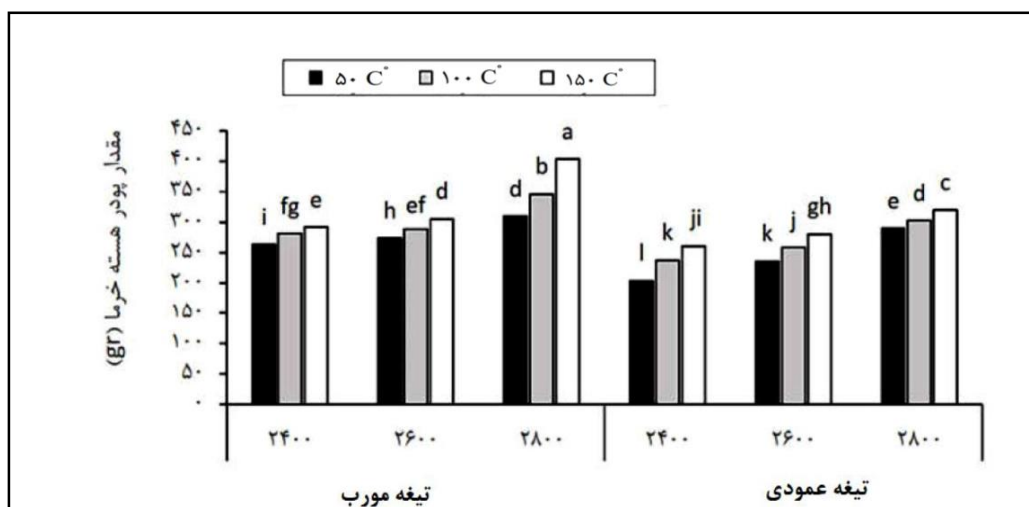
(Ojolo *et al.*, 2015) همخوانی دارد. بیشترین مقدار هسته‌های خرد شده کامل (۲۷۸/۶ گرم معادل ۳۹/۸ درصد) به هنگام کاربرد تیغه مورب، در بیشترین سرعت (۲۸۰۰ دور در دقیقه) و بیشترین دما ایجاد شده است. کمترین مقدار (۱۵۹/۶ گرم معادل ۲۲/۸ درصد) نیز در سرعت ۲۴۰۰ دور در دقیقه، دمای ۵۰ درجه سلسیوس و به هنگام کاربرد تیغه عمودی ایجاد شده است.



شکل ۷- نمودار اثر سرعت، دما و تیرگی بر میزان هسته‌های خرد شده کامل

تأثیر متقابل سه گانه سرعت، دما و تیرگی بر میزان پودر شدن در شکل ۸ مشاهده می‌شود که در تمام سطوح سرعت و دما، میزان پودر هسته خرما در هنگام استفاده از تیرگی‌های مورب بیشتر است تا به هنگام استفاده از تیرگی عمودی. همچنین، با افزایش دما تأثیر سرعت حرکت تیرگی‌ها در افزایش میزان پودر بیشتر است، زیرا با افزایش دما حساسیت الیاف هسته خرما به ضربه بیشتر می‌شود (Shokrollahi *et al.*, 2015). بیشترین میزان پودر شونده‌گی هسته‌های خرما در بیشترین سرعت دورانی (۲۸۰۰ دور در دقیقه) در دمای ۱۵۰ درجه سلسیوس با تیرگی‌های مورب، مقدار ۴۰۳ گرم (۵۷/۶ درصد) و کمترین میزان پودر شونده‌گی در سرعت دورانی (۲۴۰۰ دور در دقیقه) در دمای ۵۰ درجه سلسیوس و با تیرگی‌های عمودی به مقدار ۲۰۳/۷ گرم (۲۹/۱ درصد) ایجاد شده است.

تأثیر متقابل سه گانه سرعت، دما و تیرگی بر میزان پودر شدن در شکل ۸ مشاهده می‌شود که در تمام سطوح سرعت و دما، میزان پودر هسته خرما در هنگام استفاده از تیرگی‌های مورب بیشتر است تا به هنگام استفاده از تیرگی عمودی. همچنین، با افزایش دما تأثیر سرعت حرکت تیرگی‌ها در افزایش میزان پودر بیشتر است، زیرا با افزایش دما حساسیت الیاف هسته خرما به ضربه بیشتر می‌شود



شکل ۸- نمودار اثر سرعت، دما و تیرگی بر میزان پودر شدن هسته خرما

بهترین میزان این پارامترها برای ایجاد بیشترین مقدار پودر، (۲۸۰۰ دور در دقیقه، ۱۵۰ درجه سلسیوس، تیغه مورب)، تأثیر میزان تغذیه در سه سطح ۷۰۰، ۱۲۰۰ و ۱۷۰۰ (گرم) بر خواص فیزیکی هسته‌ها بررسی شد که نتایج آن در جدول ۲ آمده است.

نتایج اندازه‌گیری تأثیر میزان تغذیه بر میزان هسته‌های ترک خورده، نیمه خرد شده، خرد شده کامل و پودر شده پس از بررسی تأثیر سرعت دورانی تیغه‌ها، دمای هسته و نوع تیغه بر ویژگی‌های فیزیکی هسته‌های خرما و مشخص شدن

جدول ۲- تجزیه واریانس تأثیر میزان تغذیه بر میزان هسته‌های ترک خورده، نیمه خرد شده، خرد شده کامل و پودر شده

میانگین مربعات صفات مورد مطالعه					منبع تغییرات
پودر شده	خرد شده کامل	نیمه خرد شده	ترک خورده	درجه آزادی	میزان تغذیه
۷۷/۳۰**	۹۲۸/۷۹**	۲۳۹/۶۸**	۴۸۵/۲۵**	۲	خطا
۹/۱۲	۱۶/۷۰	۱۲/۸۱	۱۰/۰۵	۶	

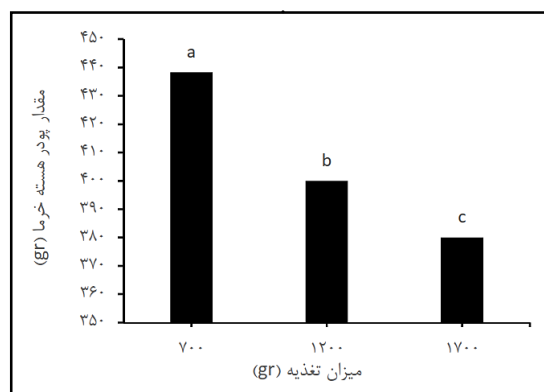
** بیانگر معنی‌داری در سطح ۱ درصد است.

درصد کاهش پیدا می‌کند. بیشترین میزان پودر هسته خرما در میزان تغذیه ۷۰۰ گرم دیده می‌شود. زیرا در این میزان تغذیه دستگاه فرصت کافی برای پودر کردن بیشتر هسته‌ها دارد. غفاری و همکاران (Ghafari et al., 2011) نشان دادند که با افزایش میزان تغذیه بیشتر از ظرفیت بهینه دستگاه، میزان هسته‌های خرد شده ناقص افزایش و میزان پودر کاهش می‌یابد.

نتایج اندازه‌گیری پودر

برابر جدول ۲، میزان تغذیه تأثیر معنی‌داری در سطح ۱ درصد بر میزان پودر شدن هسته‌های خرما دارد.

شکل ۹ تأثیر پارامتر میزان تغذیه را روی میزان پودر شدن هسته خرما نشان می‌دهد. برابر این شکل، با افزایش میزان تغذیه از ۷۰۰ تا ۱۷۰۰ گرم، میزان پودر شدن هسته خرما به میزان ۱۳/۳



شکل ۹- نمودار مقایسه میانگین میزان تغذیه بر میزان پودر شدن هسته خرما

جدول ۳ آورده شده است.

مطابق جدول مذکور تنها دما تأثیر معنی‌داری در سطح ۱ درصد بر میزان پروتئین هسته خرما دارد.

نتایج خواص شیمیایی

آنالیز تجزیه واریانس میانگین داده‌های حاصل از تغییرات دما، سرعت و نوع تیغه بر خواص شیمیایی هسته‌های خرما در

جدول ۳- تجزیه واریانس تأثیر تیمارهای آزمایش بر میزان پروتئین، روغن، خاکستر و فیبر هسته‌های خرما

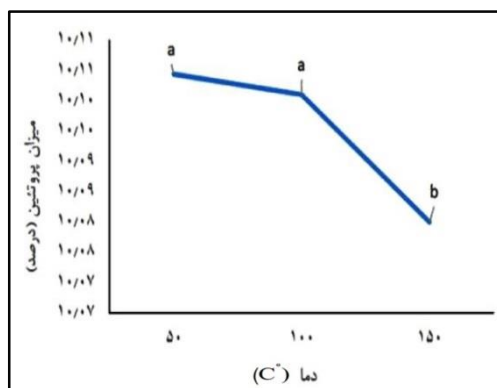
میانگین مربعات صفات مورد مطالعه				درجه آزادی	منابع تغییرات
میزان فیبر	میزان خاکستر	میزان روغن	میزان پروتئین		
۰/۰۰۱۰ ^{NS}	۰/۰۰۰۰۱ ^{NS}	۰/۰۰۰۴۱ ^{NS}	۰/۰۶۵۳ ^{**}	۲	دما
۰/۰۰۰۲ ^{NS}	۰/۰۰۰۰۸ ^{NS}	۰/۰۰۰۱۳ ^{NS}	۰/۰۰۰۲۳ ^{NS}	۲	سرعت
۰/۰۰۰۱ ^{NS}	۰/۰۰۰۰۱ ^{NS}	۰/۰۰۰۱۵ ^{NS}	۰/۰۰۰ ^{NS}	۱	تیغه
۰/۰۰۰۰۹ ^{NS}	۰/۰۰۰۰۲۸ ^{NS}	۰/۰۰۰۱۸ ^{NS}	۰/۰۰۰۰۲ ^{NS}	۴	سرعت × دما
۰/۰۰۰۰۵ ^{NS}	۰/۰۰۰۰۱۷ ^{NS}	۰/۰۰۰۰۶۱ ^{NS}	۰/۰۰۰ ^{NS}	۲	تیغه × دما
۰/۰۰۰۰۱ ^{NS}	۰/۰۰۰۰۰ ^{NS}	۰/۰۰۰۰۸۳ ^{NS}	۰/۰۰۰ ^{NS}	۲	تیغه × سرعت
۰/۰۰۰۰۱۳ ^{NS}	۰/۰۰۰۰۰ ^{NS}	۰/۰۰۰۰۲۷ ^{NS}	۰/۰۰۰ ^{NS}	۴	تیغه × سرعت × دما
۰/۰۰۰۰۵۳	۰/۰۰۰۰۰۵	۰/۰۱۱۴	۰/۰۰۱	۳۶	خطای آزمایش
۰/۱۴	۰/۱۵	۰/۱۹	۰/۱۳		ضریب تغییرات (درصد)

** و NS به ترتیب بیانگر معنی‌داری در سطح ۱ درصد و غیر معنی‌داری است.

تأثیر دما بر میزان پروتئین هسته‌های خرما

برابر نمودار (۱۰)، با افزایش دما از ۵۰ درجه سلسیوس به ۱۵۰ درجه سلسیوس مقدار پروتئین کل کاهش یافته‌است. این روند کاهش بین تیمارهای ۵۰ و ۱۰۰ غیر معنی‌دار و بین تیمارهای ۱۰۰ و ۱۵۰ درجه سلسیوس معنی‌دار است. واکنش مایلارد، وقتی رطوبت پایین و دما بالاست، بهتر رخ می‌دهد. با توجه به دمای بالا هنگام خشک کردن نمونه، احتمال واکنش مایلارد بسیار بالاست و در نتیجه این واکنش ترکیبات هتروسیکلیک متنوعی مانند پیریدین تولید می‌شود. یادآوری می‌شود، روش

کدال بر پایه اندازه‌گیری مقدار نیتروژن نمونه است و این روش برای ترکیباتی مناسب نخواهد بود که دارای نیتروژن به صورت گروه‌های نیترو ($R-NO_2$) و آزو ($R-N=N-R'$) و همچنین نیتروژن موجود در حلقه (مانند پیریدین) هستند؛ زیرا نیتروژن این ترکیبات در شرایط آزمون به آمونیوم سولفات تبدیل نمی‌شود. بنابراین، می‌توان نتیجه گرفت که مقدار پروتئین کمتر در دمای بالای خشک کردن می‌تواند ناشی از واکنش مایلارد و متعاقباً تشکیل ترکیبات هتروسیکلیک حاوی نیتروژن باشد که با استفاده از روش کدال قابل اندازه‌گیری نیستند.



شکل ۱۰- نمودار اثر دما بر میزان پروتئین هسته‌های خرما

ترک خورده، نیمه خرد شده، خرد شده کامل و پودر شده) و ویژگی‌های شیمیایی (میزان پروتئین، روغن، خاکستر و فیبر) هسته خرما بررسی شد. نتایج آزمایش‌ها نشان داد که تأثیر دما، سرعت دورانی تیغه‌ها و نوع تیغه و اثر متقابل آنها بر همه ویژگی‌های فیزیکی مورد بررسی در سطح ۱ درصد معنی‌دار است. با افزایش سرعت دورانی تیغه‌ها و افزایش دما، میزان هسته‌های ترک خورده و نیمه خرد شده کاهش یافته و به تبع آن میزان هسته‌های خرد شده کامل و پودر شده بیشتر شده است. با افزایش میزان تغذیه، میزان هسته‌های خرد شده کامل و پودر شده کاهش یافته است. بیشترین میزان پودرشدگی در سرعت دورانی ۲۸۰۰ دور در دقیقه، میزان تغذیه ۷۰۰ گرم، دمای ۱۵۰ درجه سلسیوس و با تیغه مورب به دست آمده است. نتایج بررسی‌ها نشان می‌دهد هیچ‌یک از منابع تغییرات (سرعت دورانی تیغه‌ها، دما، نوع تیغه، میزان تغذیه) بر میزان روغن، خاکستر و فیبر پودر هسته‌های خرما معنی‌دار نیست، و فقط تأثیر دما بر میزان پروتئین پودر هسته‌های خرما در سطح یک درصد معنی‌دار است به گونه‌ای که با افزایش دما میزان پروتئین هسته‌های خرما کاهش می‌یابد.

نتایج اندازه‌گیری روغن، خاکستر و فیبر هسته‌های خرما

برابر جدول ۳، تأثیر تمامی پارامترها (دما، سرعت و نوع تیغه) بر میزان روغن، خاکستر و فیبر هسته‌های خرما غیرمعنی‌دار است. با توجه به مقادیر قابل توجه روغن در پودر هسته‌های خرما، معنی‌دار نبودن تأثیر پارامترهای آزمایش بر این ویژگی شیمیایی، نشان می‌دهد که هسته‌های خرما پس از آسیاب شدن با دستگاه ساخته شده می‌توانند برای روغن‌گیری استفاده شوند. با توجه به اینکه خاکستر هسته‌های خرما در صنایع برای حذف کادمیم و سرب از پساب کارخانه‌ها و حذف نیترات از محلول‌های آبی استفاده می‌شود، این نتیجه‌گیری می‌تواند استفاده از دستگاه آسیاب هسته خرما برای استحصال خاکستر از پودر هسته‌ها را توجیه کند (Safdari *et al.*, 2015). اینک میزان فیبر پودر هسته‌های خرما تغییر قابل توجهی نکرده است، کاربرد آن را در جیره غذایی دام توجیه می‌کند.

نتیجه‌گیری

در این پژوهش، تأثیر سرعت دورانی تیغه، نوع تیغه، میزان تغذیه و دمای هسته‌ها روی ویژگی‌های فیزیکی (میزان هسته‌های

مراجع

- Adisa, A. F., Udo, S. B., Ismaila, S. O. and Adejuyigbe, S. B. 2015. Development of palm kernel nut cracking machine for rural use. *Agricultural Engineering International: CIGR Journal*. 17(4): 379-388.
- Akbari, M., Razavizadeh, R. and Mohebi, G. 2013. Evaluation of oil and fatty acid profiles in Kababak date in Bushehr province. *The Second National Congress on Organic and Conventional Agriculture*, Ardabil. (in Persian)
- Al-Showiman, S. S., Al-Tamrah, S. A. and Baosman, A. A. 1994. Determination of selenium content in dates of some cultivars grown in Saudi Arabia. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*. 45(1): 29-33.
- Almana, H. and Mahmoud, R. 1994. Palm date seeds as an alternative source of dietary fiber in Saudi bread. *Ecology of Food and Nutrition*. 32(3-4): 261-270.

- Andoh, P., Agyare, W. and Dadzie, J. 2010. Selection of an ideal mesh size for the cracking unit of a palm kernel processing plant. *Journal of Science and Technology (Ghana)*. 30(3): 109-118
- AOAC. 2000. *Official Methods of Analyses*. Washington, DC: Association of Official Analytical Chemists.
- Besbes, S., Blecker, C., Deroanne, C., Drira, N.-E. and Attia, H. 2004. Date seeds: Chemical composition and characteristic profiles of the lipid fraction. *Food Chemistry*. 84(4): 577-584.
- Choo, Y., Cheah, K., Ma, A., Halim, A. and Ong, A. 1990. Conversion of crude palm kernel oil into its methyl esters on a pilot plant scale. *Proceedings of the 1990 AOCS: World Conference on Oleochemicals into the 21st Century*. Thomas H. Applewhite (Ed.), Kuala Lumpur. p. 292-295.
- El-Shurafa, M., Ahmed, H. and Abou-Naji, S. 1982. Organic and inorganic constituents of date palm pit (seed). *Date Palm Journal*. 1(2): 275-284 (in Libya)
- Fahloul, D., Abdedaim, M. and Trystram, G. 2010. Heat, mass transfer and physical properties of biscuits enriched with date powder. *Journal of Applied Sciences Research*. 6(11): 1680-1686.
- FAOSTAT. (2017). URL <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>
- Ghafari, A., Chegini, G., Khazaei, J. and Vahdati, K. 2011. Design, construction and performance evaluation of the walnut cracking machine. *International Journal of Nuts and Related Sciences*. 2(1): 11-16.
- Ghazanfari Moghdam, A., Vaezizadeh, M. and Noorbakhsh, S. 2011. Investigating and modeling water absorption at different temperatures and its effect on grinding date pits. *Journal of Agricultural Engineering Research*. 12(1): 97-108.
- Ibrahim, I. D., Jamiru, T., Sofuwa, O., Onuoha, O. J., Sadiku, R. E. and Kupolati, W. K. 2016. Design and performance evaluation of horizontal-shaft palm kernel cracking machine. 3rd *International Conference on African Development Issues*. p. 337-341
- Kheiri, F., Pourreza J., Faghani M. and Rahimiyan Y. 2011. The effect of different levels of date meals on cockerles performance. *Veterinary Journal of TABRIZ*. 5(1): 1075-1082. (in Persian)
- Nasir, A. 2005. Development and testing of a hammer mill. *AU Journal of Technology*. 8(3): 124-130.
- Ndukwu, M. and Asoegwu, S. 2010. Functional performance of a vertical-shaft centrifugal palm nut cracker. *Research in Agricultural Engineering*. 56(2): 77-83.
- Ojolo, S., Ogundare, A. and Adegbiyi, A. 2015. Development of a variable size nut cracker. *Agricultural Engineering International: CIGR Journal*. 17(3): 159-165.
- Ologunagba, I. 2012. Design and evaluation of a horizontal-shaft palm nut cracking machine. *Journal of Engineering and Applied Sciences*. 4, 80-86.
- Omoruyi, A. and Ugwu, K. 2015. Optimization and performance evaluation of palm nut cracking machine. *International Journal of Science and Research (IJSR)*. 7(4): 646-653.
- Safdari, M., Qhaneian, M. T., Ehrampoush, M. H., Babae, A. R., Emamjomeh, M. M. and Zareii, S. 2015. Study of efficacy of date kernel ash on removal of nitrate from aqueous solutions (isothermic and kinetic study). *Journal of Shahrekord University of Medicine Sciences*. 16(6): 48-56. (in Persian)
- Shokrollahi, F., Taghizadeh, M., Koocheki, A. and Hadad Khodaparast, M. H. 2015. Investigation of physicochemical properties of crust and core dietary fiber from date seed. *Journal of food science and technology*. 12(78): 153-161.

Investigating the Factors Affecting on The Amount of Date Pit Powder in a Model Mill

M. Karampour, R. Meamar Dastjerdi*, M. Rahnama and M. Saadatfard

*Corresponding Author: Assistant Professor, Faculty of agriculture engineering and rural development, Department of Agricultural Machinery and Mechanization Engineering, Agricultural Sciences and Natural Resources, University of Khuzestan, Mollasani, Iran. Email: rasoul.meamar@ramin.ac.ir.

Received: 29 December 2018, Accepted: 11 August 2019

Abstract

Date palm is one of the most important export products of Iran. The date pit is about 10% of the total weight of the date, and can be used in livestock feeding after being ground, and also in many processing factories. The purpose of this study was to find the effects of rotational speed, type of blades, feeding rate and temperature on the amount of powder produced in a model mill. The device consists of chassis, electrical motor, feed unit, mill unit with two types of blades and grading unit. The effects of rotational speed, blade type, feeding rate and temperature on physical properties (amount of pits that is cracked, half-broken, full crushed, powdered) and chemical properties (amount of oil, protein, fiber, ash) were investigated. Experiments were grouped into two independent parts. The first one was conducted to determine the effects of rotational speed (2400, 2600 and 2800 rpm), two types of blades (vertical and diagonal) and three temperature levels (50, 100 and 150 C°) on amount of powder produced in the constant feed rate. After determining the speed, blade type and optimum temperature, the second group of experiments were conducted to determine the effects of feeding rate (700, 1200 and 1700 gr/min.) on the amount of powder produced. The experimental design was factorial based on completely randomized design with three replications. The results from the first group of experiments showed that the effects of temperature, speed and type of blade and their interaction on all physical properties were significant at 1% level. Maximum amount of pit powder was obtained at 2800 (rpm) blades speed, 700 (gr/min.) of feeding, 150 C° temperature using diagonal blades. Among the chemical properties, only temperature at 1% level was significant on the protein content of the date palm kernel powder.

Keywords: Blade Mill, Chemical properties, Physical prproperties, Processing by products, Waste