

مقاله علمی - پژوهشی

طراحی، ساخت و ارزیابی دستگاه آسیاب میوه سنجد

محمد احمدپور اوموئی^۱، سجاد کیانی^{۲*}، مهدی قاسمی ورنامخواستی^۳ و زهرا ایزدی^۴

۱، ۳ و ۴- به ترتیب: دانشجوی کارشناسی ارشد؛ دانشیار؛ و استادیار گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران

۲- استادیار گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۵/۱۳؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۸/۲۱

چکیده

در این مطالعه، دستگاه آسیاب میوه سنجد طراحی، تحلیل رایانه‌ای، ساخته و ارزیابی شد. دستگاه آسیاب از قسمت‌های مختلف کوبنده، ضدکوبنده، سینی ضدکوبنده، بدنه، شاسی، دریچه‌های ورودی و خروجی به صورت سه بعدی طراحی رایانه‌ای شد. پس از طراحی سه بعدی، به منظور حصول اطمینان از استحکام کوبنده این دستگاه، تحلیل نرم‌افزاری انجام شد. دانش فنی استخراج شده برای ساخت دستگاه به روش ورق‌کاری-آهنگری (بدنه و متعلقات) و به روش ریخته‌گری-ماشین‌کاری (قطعات کوبنده و ضدکوبنده) استفاده گردید. یک الکتروموتور با توان ۲/۲۰۶ کیلووات برای به حرکت درآوردن محور کوبنده و اجرای آزمایش‌ها به کار گرفته شد. دستگاه تولید شده با اندازه‌گیری میزان پودرشدگی میوه سنجد (ذرات کوچک‌تر از ۲۵۰ میکرون) در رطوبت‌های مختلف میوه (نزدیک صفر درصد یا تغییر نیافتن رطوبت نمونه در دمای ۷۰ درجه سلسیوس، ۵ و ۱۰ درصد)، سرعت‌های متفاوت کوبنده (۷۵۰، ۱۰۰۰، ۱۲۵۰، ۱۵۰۰ دور بر دقیقه) و اندازه‌های مختلف مش‌های سینی ضدکوبنده (۰/۵، ۰/۷۵ و ۱ میلی‌متر) در قالب آزمایش فاکتوریل بر پایه طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار ارزیابی شد. نتایج تحلیل آماری نشان داد که بهترین میزان پودرشدگی میوه سنجد در بالاترین سرعت دورانی کوبنده (۱۵۰۰ دور بر دقیقه) و با اندازه مش‌های سینی ضدکوبنده ۰/۷۵ میلی‌متر به ترتیب در رطوبت نزدیک به صفر، ۸۰/۱۶ درصد، در رطوبت ۵ درصد، ۷۹/۳۳ درصد و در رطوبت ۱۰ درصد، ۵۵/۱۲ درصد به دست آمد. ظرفیت کلی دستگاه ۳۰ کیلوگرم بر ساعت برای تنظیم دستگاه در دور ۱۵۰۰ دور بر دقیقه، سینی با اندازه مش‌های ۰/۷۵ میلی‌متر و رطوبت ۵ درصد محاسبه و پیشنهاد می‌شود.

واژه‌های کلیدی

سرعت دورانی، طراحی رایانه‌ای، کوبنده، هسته

مقدمه

رنگ میوه سنجد معمولاً قرمز متمایل به قهوه‌ای است. سنجد بومی آسیای غربی و از اروپا تا هیمالیا پراکنده شده است. در ایران نیز در نواحی بیابانی کشور به صورت خودرو یافت می‌شود. همچنین سنجد یکی از محصولات باغی تولید شده در مناطق شمال شرق و جنوب ایران است. میوه سنجد دارای

میوه سنجد میوه درختچه یا درختی است با نام علمی *Elaeagnus angustifolia* L. که بیش از ۷ متر رشد می‌کند (Sabeti, 2008). این میوه بیضی‌مانند و کشیده است و طول آن به ۶ تا ۲۰ میلی‌متر و قطر آن به ۳ تا ۱۰ میلی‌متر می‌رسد.

میوه سنجد بدون پوست (Noreen *et al.*, 2016). در تحقیقاتی متنوع، تأثیر افزودن پودر میوه سنجد به محصولات کیکی بررسی شده است. نتایج نشان می‌دهند افزایش میزان آرد سنجد در فرمولاسیون کیک روغنی، منجر به کاهش میزان ویسکوزیته خمیر، حجم، چربی، پروتئین و pH کیک می‌شود ولی میزان فیبر کیک افزایش می‌یابد (Ayoubi, 2018). پودر میوه سنجد به دلیل دارا بودن مقادیر بالای فیبر خام، چربی، خاکستر و پروتئین می‌تواند به عنوان یک ترکیب عملگر در محصولات غذایی استفاده شود. نمونه آرد سنجد دارای مقادیر زیاد فیبرهای رژیمی و مواد معدنی است (Sahan *et al.*, 2015). مقدار مواد معدنی آهن، روی، بور و کرم به دست آمده از میوه سنجد در آرد میوه همراه با هسته آن بیشتر است تا در نمونه آرد میوه سنجد بدون هسته. این امر اهمیت تولید پودر میوه سنجد به همراه پودر هسته آن را نشان می‌دهد (Noreen *et al.*, 2016).

آسیاب کردن محصولات کشاورزی قدمتی به اندازه تاریخ بشر دارد. آسیاب کردن به فرآیند خرد کردن دانه به آرد اشاره دارد. اغلب برای آسیاب کردن مواد گرانوله کشاورزی از آسیاب چکشی استفاده می‌شود (Williams & Rosentrater, 2007). همان‌طور که از نام آن پیداست، چکش‌ها در آسیاب، دانه‌ها را با ضربه آسیاب می‌کنند. آسیاب چکشی اساساً محفظه‌ای فولادی و حاوی یک شفت چرخان افقی است که چکش‌ها روی آن آزادانه روی انتهای صلیب می‌چرخند یا روی روتور مرکزی ثابت می‌شوند. در حالی که مواد به داخل قیف ورودی تغذیه می‌شوند روتور با سرعت بالا در داخل محفظه

ویتامین‌های A، B2، E و F و حاوی املاح پتاسیم، منیزیم، سدیم، آهن، کلسیم، روی و مس است که پس از آسیاب کردن و به صورت پودر می‌توان از آن برای تغذیه روزمره استفاده کرد (Ramezani *et al.*, 2001). مطالعات زیادی در این زمینه سنجد را به عنوان یک منبع غذایی سودمند معرفی می‌کنند. میوه سنجد همراه با هسته آن به عنوان یک محصول فراسودمند و به علت دارا بودن فیبر، کربوهیدرات، ویتامین، مواد معدنی، ترکیبات فنلی، آنتی‌اکسیدان و پروتئین ارزش تغذیه‌ای بالایی دارد (Amiri Tehranizadeh *et al.*, 2016). آرد سنجد با مقدار فیبر بالا (۲۰ تا ۳۰ درصد) پتانسیل جذب آب بیشتر و افزایش اثر ثبات امولسیون را نشان می‌دهد (Ozturk *et al.*, 2018). فیبرهای خوراکی به علت مزایای مصرفی آنها مورد توجه متخصصان صنایع غذایی هستند و با توجه به ارتباط بین سلامت و خوراک، تولید خوراک‌های جدید و سودمند افزایش داشته است. کیک غنی شده با پودر میوه سنجد، به عنوان یک میان‌وعده پرطرفدار، از برنامه‌های صنایع تولیدکننده مواد غذایی است (Tuan *et al.*, 2017). آرد میوه سنجد را می‌توان به عنوان ماده اولیه عملگر^۱ در تولید محصولات نانوایی و شیرینی استفاده کرد و علت آن ساختار آردی و خواص عملگرایی مانند فیبر رژیمی، مواد معدنی و ترکیبات فنولیک^۲ است. در میوه سنجد ترکیبات فنلی از جمله ایزو رامن تین^۳ D-B-O-۳ گالاکتو پیرانوزید^۴ و نیز اسید کافئیک^۵ وجود دارد (Hamidpour *et al.*, 2017). مقدار مواد معدنی آهن، روی و بور به دست آمده از میوه سنجد در آرد میوه همراه با پوست، بیشتر است تا در نمونه آرد

1- Pragmatic
3- Iso Rhamentin
5- Cafeik

2- Phenolic
4- Galacto Pyranoside
6- Power Hydrogene

استفاده می‌کند (Rasekh *et al.*, 2009). این روش در بسیاری از زمینه‌های مهندسی به طور موفقیت‌آمیز برای مطالعه، مدل‌سازی و پیش‌بینی رفتار ساختارهای مکانیکی به کار گرفته شده است. این روش همچنین در زمینه مهندسی ماشین‌های کشاورزی برای بررسی تنش‌ها و تغییر شکل‌های پیچیده در شرایط مختلف استفاده شده است (Tanko *et al.*, 2005; Hernandez & Bells, 2007).

در سال ۲۰۰۵ یک آسیاب دوار چکشی با هدف آسیاب کردن مواد خوراکی خشک مانند ذرت، ارزن، لوبیا و مواد مشابه طراحی، تولید و ارزیابی شد (Nasir, 2005). چکش‌های آسیاب از طریق یک شفت و تسمه توسط یک موتور ۰/۷۳۶ کیلوواتی به گردش درمی‌آید. ذرات خرد و آرد شده توسط این آسیاب با اندازه‌های حداقل ۸۷ میکرومتر و حداکثر ۲ میلی‌متر به دست آمد. در پژوهشی دیگر یک دستگاه آسیاب چکشی-سایشی برای آسیاب کردن ریشه گیاه کاساوا^۳ طراحی، تولید و ارزیابی شد (Nwaigwe *et al.*, 2012). طراحان در این آسیاب از کوبنده و ضدکوبنده گردشی استفاده کردند. طراحی این دستگاه به گونه‌ای بود که گردش هوای مناسبی در زمان کوبش مواد وجود داشته باشد و از گرم شدن بیش از حد مواد و ایجاد تنش حرارتی جلوگیری شود. در مطالعه‌ای دیگر، برای آسیاب کردن غلات یک آسیاب چکشی به منظور استفاده در مزارع کشاورزی طراحی سه‌ب عدی، تولید و ارزیابی شد (Kawuyo *et al.*, 2014). این دستگاه شامل اجزای اصلی شاسی از جنس فولاد آلیاژی، ورودی یا قیف، کوبنده چکشی و ضدکوبنده از جنس چدن نشکن^۴ بود.

می‌چرخد. این مواد توسط میله‌های چکشی تحت ضربه قرار می‌گیرند و در نتیجه آن قدر خرد می‌شوند تا امکان عبور آنها از سینی ضدکوبنده میسر شود. آرد تولید شده یا بر اثر نیروی جاذبه به داخل محفظه زیری می‌ریزد، یا به واسطه جریان هوا از طریق یک سیکلون به داخل ظرف نگهدارنده رانده می‌شود. جریان هوا توسط اثر فن چکش‌ها یا توسط تیغه‌های اضافی فن نصب شده روی محور چکش‌ها تامین می‌شود. آسیاب‌های چکشی در ساخت و ساز ساده هستند و قطعات آنها را می‌توان به راحتی جایگزین کرد (Perry & Dan, 1998). نیروی مورد نیاز آسیاب‌های چکشی غلات آن‌طور که هندرسون و پری (Henderson & Perry, 1982) گزارش داده‌اند حدود ۲/۲۵ کیلووات (۳ اسب بخار) است. مصرف انرژی ماشین‌های مورد استفاده برای خرد کردن محصولات کشاورزی، در مقایسه با سایر ماشین‌های فرآوری محصولات خوراکی، بالاست. فرآیند ساخت و آزمایش این ماشین‌ها نیز هزینه‌بر است. بنابراین، بهینه‌سازی این دستگاه‌ها برای ارائه بهترین عملکرد با طراحی مناسب یکی از عوامل مهم در زمینه کاهش هزینه‌های ساخت و تولید آنهاست (Guo *et al.*, 2009). طراحی با کمک رایانه^۱ (CAD) به استفاده از فناوری رایانه در فرآیند شبیه‌سازی و مدل‌سازی گفته می‌شود. امروزه طراحی سه بعدی و شبیه‌سازی قطعات و اجزای مختلف ماشین‌ها به دلیل سرعت بالای اجرای فرآیند و نیز هزینه‌های بسیار پایین، توسط رایانه صورت می‌گیرد (Besharati Givi, 2011). یکی از رایج‌ترین روش‌های شبیه‌سازی عددی، استفاده از روش المان محدود^۲ (FEM) است که برای دستیابی به راه‌حل‌های تقریبی از معادلات دیفرانسیل جزئی

1- Computer Aided Design

3- Cassava

2- Finite Element Method

4- Ductile Iron

به شکل دایره و به قطر ۲۰ سانتی‌متر از فولاد ST37 طراحی شد. مجرای ورودی به ابعاد ۱۰×۱۰ سانتی‌متر و مجرای خروجی به شکل مخروطی ناقص با ابعاد قاعده ۱۲×۴/۵ سانتی‌متر ایجاد شدند. کوبنده‌های آسیاب (بازوهای روتور کوبنده) ۳ عدد به صورت سه پر و تیغه‌های کوبنده به صورت اتصال جدا شونده روی هر بازوی کوبنده در نظر گرفته شد. اجزای دستگاه آسیاب مطابق با اندازه‌های واقعی به صورت مجزا در محیط پارت^۱ نرم‌افزار SolidWorks مدل‌سازی و در محیط مونتاژ روی هم سوار شدند و شکل نهایی دستگاه آسیاب به وجود آمد. در طراحی قطعات، به منظور حصول اطمینان از استحکام کافی قطعه در برابر شکست باید مطمئن شد که مقدار حداکثر تنش‌های اعمال شده به قطعه از تنش‌های تسلیم قطعه کمتر است. بنابراین بعد از طراحی و مونتاژ قطعات، در محیط آنالیز نرم‌افزار، تحلیل استاتیکی و شبه دینامیکی به منظور اعمال نیروها، قیدها و درجات آزادی روی کوبنده دستگاه آسیاب صورت گرفت. تکیه‌گاه کوبنده آسیاب در قسمت شفت الکتروموتور و مش‌بندی آن به صورت خودکار در تمام جهات لحاظ شد. نیروی محاسبه شده به بازوی کوبنده در دو زاویه ۴۵ و ۹۰ درجه اعمال شد. مقادیر تنش‌ها بر اساس معیار فون میسز^۲ به دست آمد. برای به دست آوردن ضریب اطمینان در تحلیل استاتیکی، مطابق رابطه ۱ تنش مجازی وارد شده به قطعه بر تنش حد تسلیم تقسیم شد (Shigley & Mishke, 1998).

$$F_s = \frac{\sigma}{\sigma_y} \quad (1)$$

که در آن،

F_s = ضریب اطمینان در حالت بارگذاری استاتیکی؛
 σ_y = تنش حد تسلیم؛ و σ = تنش مجازی یا تنش

1- Part

طراحان توان مورد نیاز برای به گردش درآوردن این آسیاب را ۲ کیلووات پیشنهاد دادند. در جدیدترین پژوهش، یک آسیاب هسته خرما به منظور استفاده در خوراک دام طراحی، تولید و ارزیابی شد (Karampour et al., 2018). محققان برای این منظور یک آسیاب چکشی - سایشی طراحی و از یک موتور ۲ کیلووات برای به حرکت درآوردن کوبنده آن استفاده کردند.

برای آسیاب کردن میوه سنجد به همراه هسته آن معمولاً از آسیاب‌های ادویه استفاده می‌شود. این آسیاب‌ها به دلیل استحکام ناکافی و شدت عمل پایین برای خرد کردن مواد سخت‌تر از ادویه، مانند هسته میوه سنجد، ظرفیت و عملکرد مناسبی ندارند. با توجه به اینکه هسته میوه سنجد جنس سختی دارد، نیاز بود آسیاب خاصی به منظور پودر کردن هم‌زمان میوه و هسته آن با درجه‌ریزی مناسب برای خوراک انسان طراحی و تولید شود. بنابراین، پژوهش در این زمینه ضرورت داشت. اهداف اصلی اجرای این پژوهش عبارت‌اند از: الف) طراحی، تحلیل رایانه‌ای (تحلیل استاتیکی و شبه دینامیکی کوبنده) و استخراج دانش فنی (ابعاد و اندازه‌ها) آسیاب میوه سنجد، ب) نمونه‌سازی صنعتی دستگاه و پ) آزمون و ارزیابی دستگاه تولید شده به منظور تعیین مناسب‌ترین دور کوبنده، مناسب‌ترین اندازه مش برای سینی یا الک ضدکوبنده و تعیین مناسب‌ترین رطوبت میوه در زمان کوبش به منظور رسیدن به یکنواخت‌ترین اندازه ذرات پودر میوه سنجد.

مواد و روش‌ها

طراحی سه بعدی و تحلیل‌های رایانه‌ای

طراحی سه بعدی دستگاه در محیط نرم‌افزار SolidWorks صورت گرفت. محفظه خردکن آسیاب

2- Von Mises

نصب شده روی هر بازوی کوبنده از آلیاژ فولاد ST52 آبکاری شده و ضد سایش تولید شدند. فاصله تیغه‌ها به اندازه یک میلی‌متری با ضدکوبنده تنظیم شد. سینی یا الک به عنوان جداساز در پایین محفظه کوبش نصب گردید. این واحد جداسازی به گونه طراحی شده است که در زمان آسیاب کردن میوه سنجد، ذرات پودر شده از مش‌های آن خارج شود. از سه نوع الک با شماره‌های ۱، ۰/۷۵ و ۰/۵ به ترتیب با سوراخ‌های به قطر ۱۰۰۰، ۷۵۰ و ۵۰۰ میکرون به منظور تعیین مناسب‌ترین دریچه خروجی محفظه آسیاب و زمان توقف مواد در محفظه کوبش استفاده شد. بر اساس پیشینه پژوهش و دستگاه‌های آسیاب محصولات مشابه و همچنین به دلیل نیاز به ایجاد دوره‌های مختلف برای محور کوبنده دستگاه، از یک الکتروموتور سه فاز ۲/۲۰۶ کیلوواتی استفاده شد.

مکانیسم شکستن هسته میوه سنجد

هسته سنجد تحت نیرو در سه مرحله متمایز عکس‌العمل نشان می‌دهد. مرحله اول تغییر شکل الاستیک، مرحله دوم تغییر شکل پلاستیک و مرحله نهایی شکستگی یا شکستن نامیده می‌شود. تغییر شکل الاستیک به این معنی است که دانه تحت فشار تغییر شکل می‌دهد اما با حذف نیرو به شکل اولیه خود باز می‌گردد. با افزایش نیرو روی دانه، تغییر شکل پلاستیک یا دائمی، حتی زمانی که نیرو حذف شود، رخ می‌دهد. هسته سنجد در نهایت با افزایش بیشتر نیروها می‌شکند. مکانیسم‌های اصلی شکست در آسیاب نیروهای فشاری و برشی هستند. اثرهای دیگری مانند ااره شدن، پارگی و سایش نیز رخ می‌دهد، اما آنها فقط ترکیبی از برش و فشار هستند. هنگامی که فشرده‌سازی و برش اعمال می‌شود، هسته سنجد خشک به تکه‌های درشت، مقداری

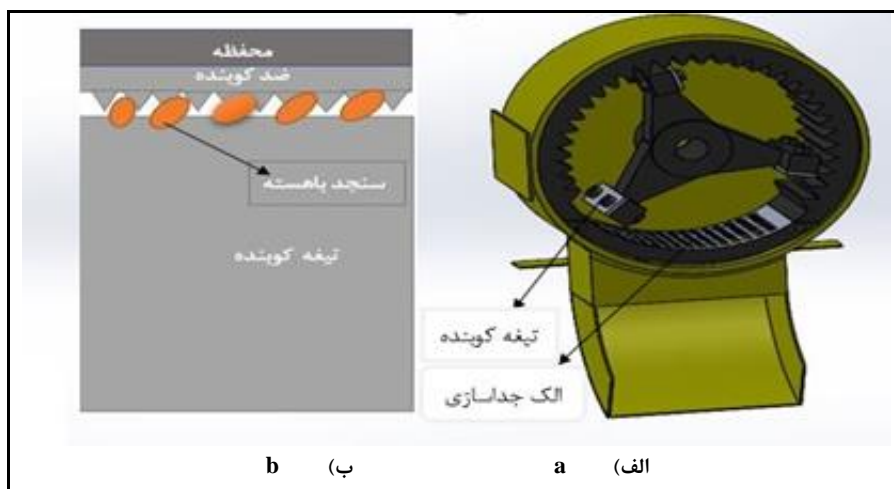
وارد بر قطعه. بارگذاری دینامیکی در دو نوع اعمال بارهای متناوب^۱ و بارهای ضربه‌ای^۲ اتفاق می‌افتد. در بارگذاری متناوب بار برای دوره‌های طولانی مدت اعمال می‌شود ولی شدت آن به طور پیوسته تغییر می‌کند. بارهای متناوب در اجزای ماشین‌آلات صنعتی به دفعات به وجود می‌آید. برای شبیه‌سازی این تحریک‌ها از آنالیز در حوزه زمان یا فرکانس استفاده می‌شود. تحلیل در حوزه فرکانس فقط برای سیستم‌های خطی کاربرد دارد ولی تحلیل در حوزه زمان هم برای سیستم‌های خطی و هم برای سیستم‌های غیرخطی کاربرد دارد. در این پژوهش، بار دینامیکی به صورت یک بار شبه دینامیکی یعنی بار استاتیکی با ضرب کردن در یک ضریب بار دینامیکی محاسبه شد. در پژوهش‌های مشابه، ضریب بار دینامیکی ۲ تا ۴ در نظر گرفته شده است (Hmoad *et al.*, 2020; Jovanovic & Milenkovic 2021). در این پژوهش مقدار ضریب بار دینامیکی سخت‌گیرانه‌ترین حالت ممکن یعنی ۴ برابر نیروی وارد شده در حالت استاتیک در نظر گرفته شد.

ساخت آسیاب

دستگاه آسیاب طراحی شده از قسمت‌های مختلف شاسی، موتور الکتریکی، کوبنده، ضدکوبنده، غربال، دریچه‌های ورودی و خروجی تشکیل شده است. بعد از طراحی و تحلیل و کسب اطمینان نسبی از استحکام قطعات، دانش فنی قطعات طراحی شده استخراج و قطعات به شرح زیر ساخته شدند. بدنه آسیاب از جنس آلیاژ فولاد ST37 در نظر گرفته و روی شاسی به شکل مکعب مربع مونتاژ شد. جنس کوبنده و ضد کوبنده آسیاب از آلیاژ چدن نشکن انتخاب و به روش ریخته‌گری تولید شد. تیغه‌های

یا چکش با سرعت بالا برخورد می‌کند. دانه بزرگ‌تر اینرسی بیشتری دارد و بنابراین راحت‌تر می‌شکند. با ریزتر شدن دانه و داشتن اینرسی کمتر، خرد شدن بیشتر طولانی‌تر می‌شود. شکل ۱ نشان‌دهنده محیط محافظه خردکن و وضعیت تیغه کوبنده و میوه سنجد در لحظه برخورد است.

ذرات ریز و گرد و غبار بسیار ریز تبدیل می‌شود. از سوی دیگر، هسته‌های مرطوب به طیفی از ذرات با اندازه‌های بزرگ‌تر تبدیل می‌شود. مراحل تراکم و برش در تمام ماشین‌های آسیاب بین دو صفحه تخت یا بین یک صفحه تخت و یک بستر هسته اتفاق می‌افتد. در برخی از آسیاب‌ها، دانه در هوا معلق می‌شود و در آنجا با یک صفحه



شکل ۱- الف) محفظه خردکن دستگاه آسیاب و ب) وضعیت تیغه کوبنده و میوه سنجد در لحظه برخورد

Fig. 1- a) Mill chamber and b) state of the crusher blade and the oleaster fruit at the moment of impact

$$F = \frac{T}{3r} \quad (۴)$$

که در آنها،

P = توان مصرفی اندازه‌گیری شده بر حسب وات؛
 T = گشتاور الکترو موتور بر حسب نیوتن متر؛
 N = سرعت دورانی بر حسب دور بر دقیقه؛ r = شعاع کوبنده؛ و F = نیروی اعمالی به سر هر بازوی کوبنده.
 برای تغییر دور الکتروموتور آسیاب (۷۵۰، ۱۰۰۰، ۱۲۵۰ و ۱۵۰۰ دور بر دقیقه) و بررسی اثر آن بر میزان پودرشدگی میوه سنجد از دستگاه اینورتر مدل 167E-EN V1000 (ساخت چین) استفاده شد. این دستگاه با برق شهری تک‌فاز دورهای مختلف الکتروموتور را فراهم می‌کند. دستگاه اینورتر تنظیم

تنظیم دور محور کوبنده آسیاب

به منظور اندازه‌گیری توان مصرفی دستگاه آسیاب میوه سنجد از یک مولتی‌متر آنالوگ-دیجیتال Lucas-Nuelle (SO5127-1Z) آلمان استفاده شد. این ابزار قادر به اندازه‌گیری ولتاژ (V)، آمپر (I)، توان الکتریکی (P)، و $\cos\varphi$ است. توان مصرفی آسیاب در زمان ورود میوه سنجد به محفظه کوبش اندازه‌گیری و با استفاده از رابطه‌های ۲ تا ۴ نیروی وارد شده به سر هر بازوی روتور محاسبه شد (Changrie, 1999).

$$P = \sqrt{3} IV \cos\varphi \quad (۲)$$

$$P = \frac{(T \times 2\pi N)}{60} \quad (۳)$$

ساعت در خشک‌کن قرار داده شدند و هر یک ساعت به منظور اندازه‌گیری رطوبت، نمونه‌برداری گردید. نمونه‌های ۲۰۰ گرمی میوه سنجد با استفاده دستگاه آون (مدل T.A.M U30) برای رسیدن به رطوبت‌های مذکور در سه تکرار خشک شدند. برای اندازه‌گیری رطوبت میوه سنجد از رابطه ۸ استفاده شد (Mohsenin, 1989).

$$\theta = \frac{W_w - W_d}{W_d} \times 100 \quad (۸)$$

که در آن،

θ = رطوبت جرمی خارج شده از سنجد (% d.b.); W_w = وزن تر نمونه (گرم)؛ و W_d = وزن نمونه خشک شده (گرم). از الک لرزان طبقاتی مدل SD8-12 (ساخت چین) برای دانه‌بندی ذرات آسیاب شده استفاده شده است (شکل ۲). هر غربال (جدول ۱) قادر است همه ذراتی را که قطر آنها از شبکه مش‌های آن کوچک‌تر باشد از خود عبور دهد و ذراتی که درشت‌تر هستند روی آن باقی می‌ماند. مواد باقی‌مانده روی هر یک از این الک‌ها نشان‌دهنده اندازه ذرات نمونه عبوری از غربال بالایی است. پس از الک کردن، وزن و درصد وزنی پودرها با استفاده از رابطه ۹ نسبت به وزن نمونه اولیه (۲۰۰ گرم) اندازه‌گیری و ذرات کوچک‌تر از ۲۵۰ میکرون به عنوان معیار درصد پودرشدگی میوه سنجد در نظر گرفته شد. این معیار بر اساس اندازه میانگین ذرات ادویه موجود در بازار مد نظر قرار گرفت.

$$\frac{W_{Sieve}}{W_{Total}} \times 100 = \text{درصد پودرشدگی روی هر الک} \quad (۹)$$

که در آن،

W_{Sieve} = وزن ذرات روی الک بعدی (زیبری)؛ و W_{Total} = وزن کل نمونه پودر شده.

سرعت چرخش موتور را از طریق تغییر فرکانس ورودی موتور ایجاد می‌کند.

ارزیابی دستگاه

بیست و دو کیلوگرم میوه سنجد در آبان‌ماه سال ۱۴۰۰ برای ارزیابی دستگاه آسیاب طراحی و تولید شده تهیه شد. قبل از شروع آزمایش‌ها، نمونه‌ها پاکسازی و در ظروف مناسب عایق نگهداری شدند. برای وزن کردن میوه سنجد و نیز میوه‌های آسیاب شده از ترازوی دیجیتال آزمایشگاهی مدل (AND-EK6000I) با دقت ۰/۰۱ (ساخت ژاپن) استفاده شد. مشخصات فیزیکی میوه سنجد با اندازه‌گیری طول، عرض و ضخامت آن با استفاده از کولیس میلی‌متری با دقت ۰/۰۵ میلی‌متر (L طول، W عرض و T ضخامت) برای نمونه‌های تصادفی (۵ نمونه) تعیین و با استفاده از رابطه ۵ تا ۷ قطر متوسط حسابی (Da)، قطر متوسط هندسی (Dg) و کرویت (ϕ) برای آنها محاسبه شد (Mohsenin, 1989).

$$Da = \frac{L + W + T}{3} \quad (۵)$$

$$Dg = (LWT)^{1/3} \quad (۶)$$

$$\phi = \frac{(LWT)^{1/3}}{L} \quad (۷)$$

رطوبت اولیه میوه سنجد یکی از پارامترهای تأثیرگذار بر وضعیت آسیاب‌کردن آن است. به همین دلیل لازم بود رطوبت اولیه میوه سنجد اندازه‌گیری شود و به حداقل میزان کاهش یابد. نمونه‌های خشک شده در دمای محیط که رطوبت اولیه در حدود ۱۲ درصد داشتند، در دمای ۷۰ درجه سلسیوس و برای رسیدن به سه سطح رطوبت (صفر یا نزدیک به صفر، ۵ و ۱۰ درصد) به مدت ۱۲



شکل ۲- الف) دستگاه الک لرزان و ب) غربال‌های استفاده شده برای الک لرزان
 Fig. 2- a) Vibrating sieve device and b) sieves used in the device

جدول ۱- الک‌های استفاده شده در الک لرزان

Table 1- Sieves used in the vibrating device

اندازه (قطر) روزنه الک (میکرومتر)	شماره الک
Sieve number (micron)	Sieve number
345	45
250	60
210	70
177	80
149	100
105	140
74	200
0	سینی آخر Tray

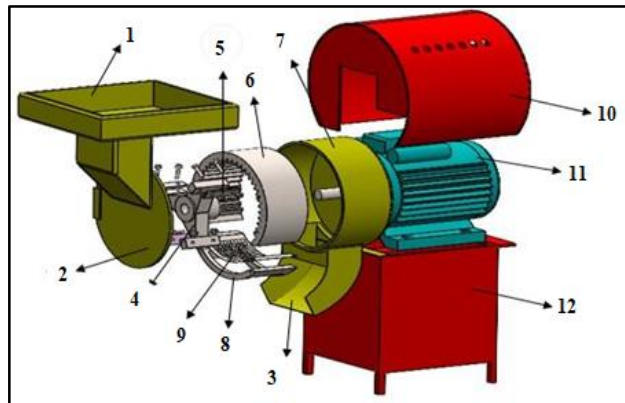
پودرشدگی بررسی آماری شد. درصد پودرشدگی به میزان پودر شدن نمونه‌ها به ذرات کوچک‌تر از ۲۵۰ میکرون گفته می‌شود. با استفاده از الک‌های لرزان با شماره‌های استاندارد سوراخ‌های الک (جدول ۱) نمونه‌های پودر و خارج شده از دستگاه آسیاب درجه‌بندی شدند. میانگین‌ها به کمک آزمون چند دامنه‌ای توکی در سطح ۱ درصد و ۵ درصد مقایسه شدند. برای تحلیل آماری، از نرم‌افزار Spss13 استفاده شد. سرانجام مناسب‌ترین درصد رطوبت، سرعت کوبنده و اندازه غربال برای آسیاب کردن میوه سنجد و به دست آوردن بیشترین درصد پودرشدگی انتخاب شد.

برای تجزیه و تحلیل آماری نتایج حاصل از تنظیمات مختلف دستگاه (۴ سطح سرعت کوبنده ۷۵۰، ۱۰۰۰، ۱۲۵۰ و ۱۵۰۰ دور بر دقیقه، سه سطح اندازه سوراخ‌های سینی دستگاه ۰/۵، ۰/۷۵ و ۱ میلی‌متر) و در رطوبت‌های مختلف نمونه‌های مورد آزمایش (صفر درصد یا تغییر نیافتن میزان رطوبت در دمای ۷۰ درجه سلسیوس، ۵ و ۱۰ درصد رطوبت بر مبنای وزن خشک) از طرح فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی استفاده شد. آزمایش‌ها برای ۳۶ نمونه با وزن ثابت ۲۰۰ گرم در ۳ تکرار اجرا شد. عامل‌های مستقل سرعت کوبنده، نوع سینی ضدکوبنده و رطوبت نمونه و متغیر وابسته درصد

نتایج و بحث

تحلیل و بررسی شد. نتایج مراحل طراحی و تحلیل رایانه‌ای، ساخت و ارزیابی دستگاه تولید شده در ادامه آورده شده است. شکل ۳، نمای کلی از طرح سه بعدی دستگاه آسیاب سنجد را نشان می‌دهد.

دستگاه آسیاب میوه سنجد بر اساس فاکتورهای طراحی (ابعاد و جنس قطعات) تحلیل و ساخته شد. حداکثر نیروی وارد بر بازوهای کوبنده محاسبه و تنش استاتیکی حاصل از این نیروها



شکل ۳- نمای سه بعدی آسیاب میوه سنجد طراحی شده، (۱) دریچه ورودی، (۲) در دستگاه، (۳) دریچه خروجی، (۴) کوبنده، (۵) تیغه کوبنده، (۶) ضد کوبنده، (۷) بدنه محفظه خرد کن، (۸) محفظه خروجی، (۹) واحد جداسازی، (۱۰) محافظ موتور، (۱۱) موتور الکتریکی و (۱۲) شاسی

Fig. 3- Three-dimensional view of the designed oleaster fruit mill machine, 1) inlet, 2) door, 3) outlet, 4) crusher, 5) crusher blade, 6) anti-crusher, 7) body, 8) output of chamber, 9) separation unit, 10) motor guard, 11) electric motor and 12) chassis

(رابطه ۴). بیشترین مقدار گشتاور وارد شده بر محور کوبنده و در نتیجه بیشترین مقدار نیرو در دور ۷۵۰ دور بر دقیقه به دست آمد. با فرض اعمال بیشینه توان موتور الکتریکی به کوبنده (زمانی که کوبنده گیر می‌کند یا قفل می‌شود) نیروی اعمالی محاسبه و در محاسبات طراحی به کار گرفته شد. نتایج به دست آمده در جدول ۲ آورده شده است.

نتایج محاسبه نیروی وارد بر لبه تیغه کوبنده توان لازم برای راه‌اندازی آسیاب در زمان ورود مواد اندازه‌گیری شد. مقدار توان مصرفی آسیاب در این حالت، توان مصرفی ویژه مورد نیاز برای آسیاب کردن مواد از رابطه ۲ محاسبه و گشتاور محور آسیاب با استفاده از رابطه ۳ به دست آمد. با در نظر گرفتن طول بازوی کوبنده، نیروی وارد شده به سر هر بازو محاسبه شد

جدول ۲- توان و گشتاور مصرفی در آسیاب میوه سنجد

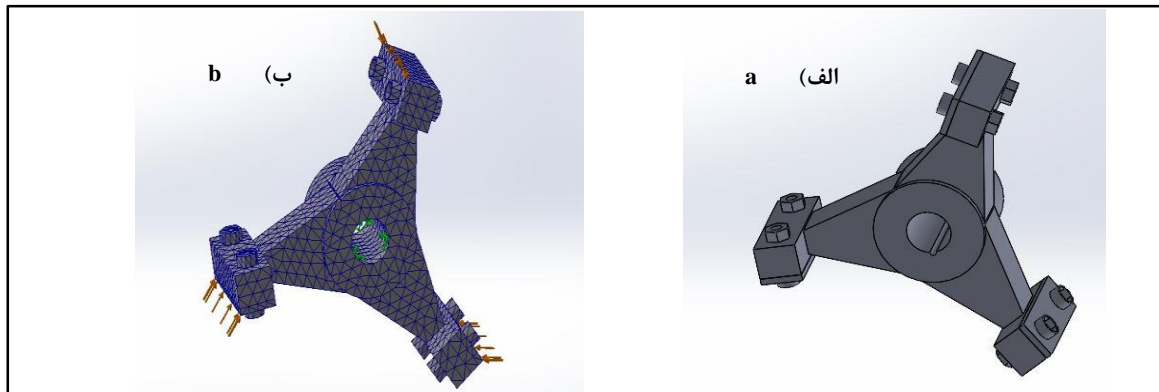
Table 2- Power and torque usage of the oleaster fruit mill machine

نیروی وارد شده بر بازوی کوبنده Crusher arm force, N	گشتاور بازوی کوبنده Crusher Torque, N.m	توان مصرفی Power, W	$\cos\phi$	آمپر (I)	ولتاژ (V)	سرعت (rpm)
52.41	12.49	981.05	0.98	8.21	70.4	750
37.37	8.97	939.78	0.87	7.22	85.2	1000
32.20	7.97	1225.17	0.93	6.86	123	1500
116.67	28.02	2206				

زمان قفل شدن کوبنده در سرعت ۷۵۰ دور بر دقیقه که بیشینه گشتاور را اعمال می‌کند.
Crusher locked at 750 rpm

آزادی و نیروی استاتیکی و شبه دینامیکی مورد تحلیل قرار گرفت. اندازه مش قطعه کوبنده به صورت خودکار توسط نرم‌افزار تعیین و مقدار ۰/۵۷۵ میلی‌متر در نظر گرفته شد. شکل ۴ قطعه کوبنده و کوبنده مش‌بندی شده را نشان می‌دهد.

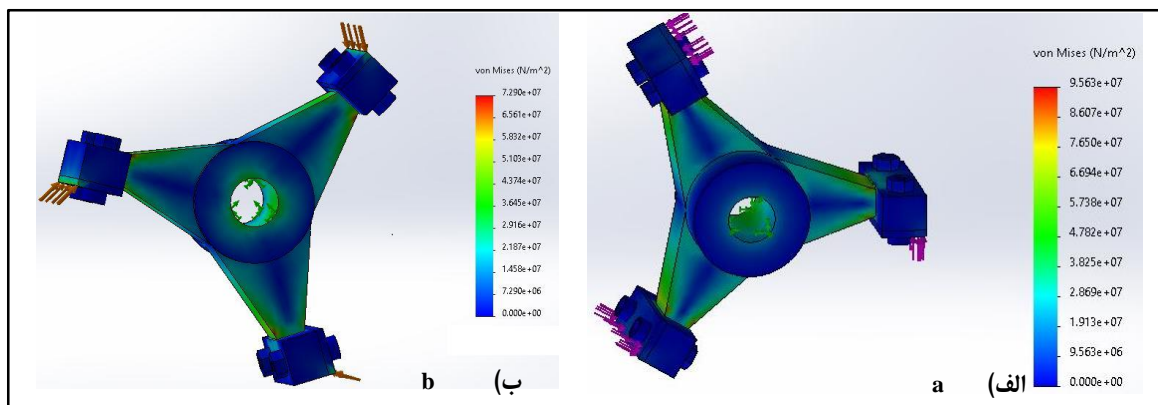
تحلیل رایانه‌ای کوبنده دستگاه آسیاب طراحی شده کوبنده دستگاه آسیاب طراحی شده به محیط آنالیز نرم‌افزار فراخوانده شد. به منظور کسب اطمینان از استحکام قطعه کوبنده در برابر ضربه‌های ناشی از کوبش هسته میوه، این قطعه مش‌بندی و پس از اعمال قیدها، درجات



شکل ۴- الف) کوبنده و ب) قطعه مش‌بندی شده کوبنده
Fig. 4- a) Crusher and b) its meshed form

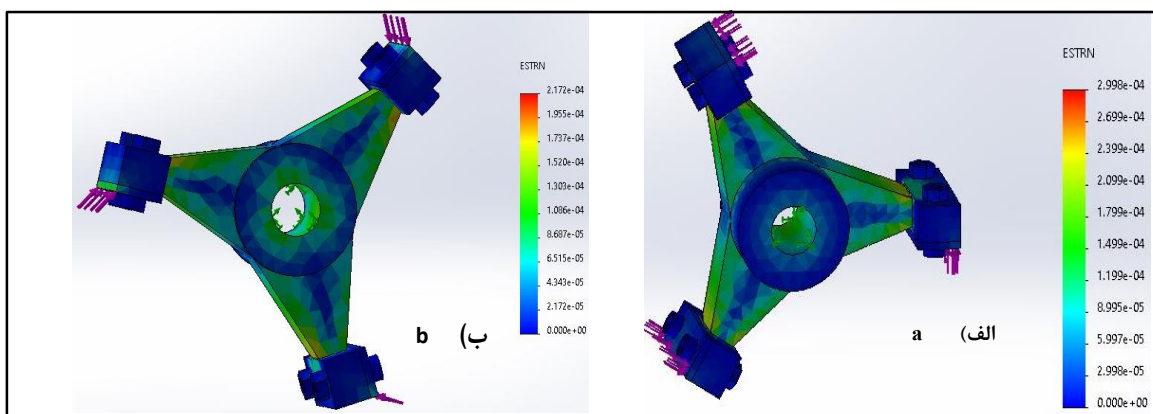
صورت عمود بر لبه تیغه کوبنده و با زاویه ۴۵ درجه اعمال شد. نتایج بیشینه تنش و کرنش به دست آمده در این تحلیل در شکل‌های ۵ و ۶ آورده شده است.

تحلیل استاتیکی در تحلیل استاتیکی، هدف عبارت است از به دست آوردن بیشینه تنش و تغییر شکل بازوهای کوبنده. در این تحلیل بارگذاری استاتیک به دو



شکل ۵- الف) حداکثر تنش اعمالی به کوبنده در بارگذاری استاتیکی با نیروی عمود بر لبه تیغه و ب) در بارگذاری با زاویه ۴۵ درجه نسبت به تیغه

Fig. 5- a) Maximum stress applied to the crusher arm in static loading with a force perpendicular to the edge of the blade and b) in loading at an angle of 45 degrees to the blade

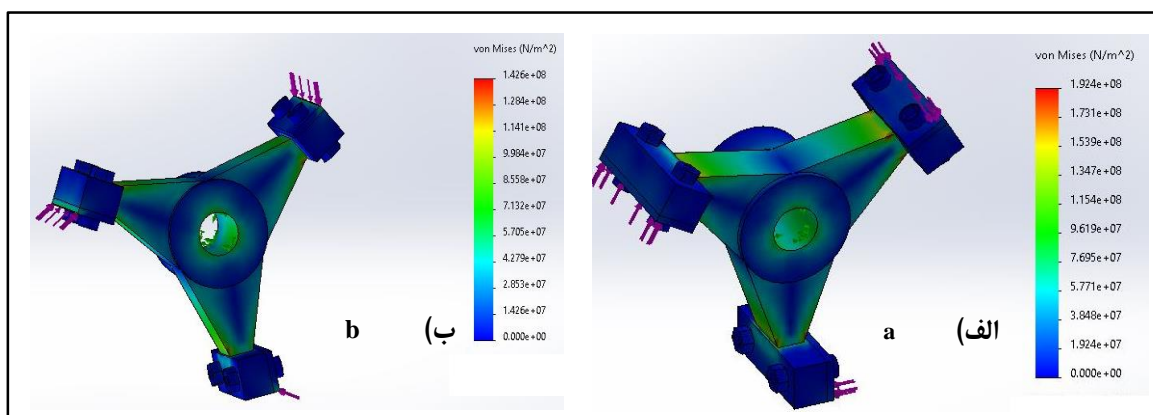


شکل ۶- الف) حداکثر کرنش محاسبه شده در بارگذاری استاتیکی با نیروی عمود بر لبه تیغه و
ب) در بارگذاری با زاویه ۴۵ درجه نسبت به تیغه

Fig. 6- a) Maximum strain applied to the crusher arm in static loading with a force perpendicular to the edge of the blade and b) in loading at an angle of 45 degrees to the blade

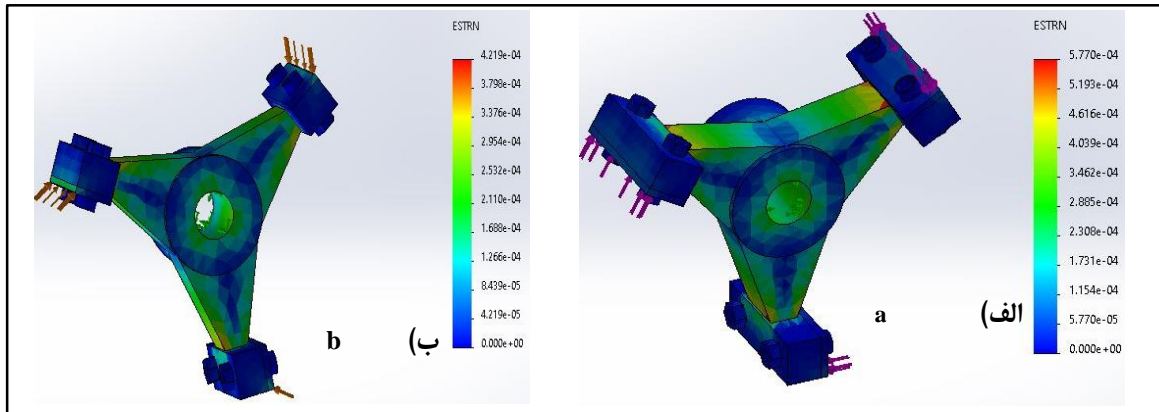
با توجه به نتایج به دست آمده، بیشینه تنش اعمال شده بر اساس معیار فون میسز بر کوبنده ۷۲/۹ و ۹۵/۶۳ مگاپاسکال در بارگذاری در زاویه به ترتیب ۹۰ و ۴۵ درجه حاصل شد. مقایسه این مقادیر تنش با تنش تسلیم قطعه کوبنده (۳۷۹ مگاپاسکال) نشان می‌دهد که تنش وارده بر قطعه کوبنده به مراتب پایین‌تر از تنش تسلیم این قطعه است و در نتیجه قطعات با ضریب اطمینان بالا به صورت پایدار کار خواهند کرد. حداکثر کرنش محاسبه شده لبه کوبنده برابر با

$10^{-5} \times 3/099$ میلی‌متر در بارگذاری عمودی محاسبه شد. شکل‌های ۷ و ۸ بیشینه تنش اعمالی از طرف جسمی خارجی وارد شده به محفظه کوبنده را نشان می‌دهند که ممکن است باعث قفل شدن کوبنده شود. بیشینه نیروی اعمالی از طرف محور الکتروموتور به بازوی گیرکرده برابر با ۱۱۶/۶۷ نیوتن محاسبه شد. بیشینه تنش محاسبه شده در این بارگذاری ۱۹۲/۴ مگاپاسکال و به مراتب کمتر از تنش تسلیم قطعه به دست آمد.



شکل ۷- الف) حداکثر تنش اعمالی بر کوبنده در بارگذاری استاتیکی با نیروی عمود بر لبه تیغه و
ب) در بارگذاری با زاویه ۴۵ درجه نسبت به تیغه، زمانی که کوبنده قفل می‌شود

Fig. 7. a) Maximum stress applied to the crusher arm in static loading with a force perpendicular to the edge of the blade and b) in loading at an angle of 45 degrees to the blade when the crusher is kept

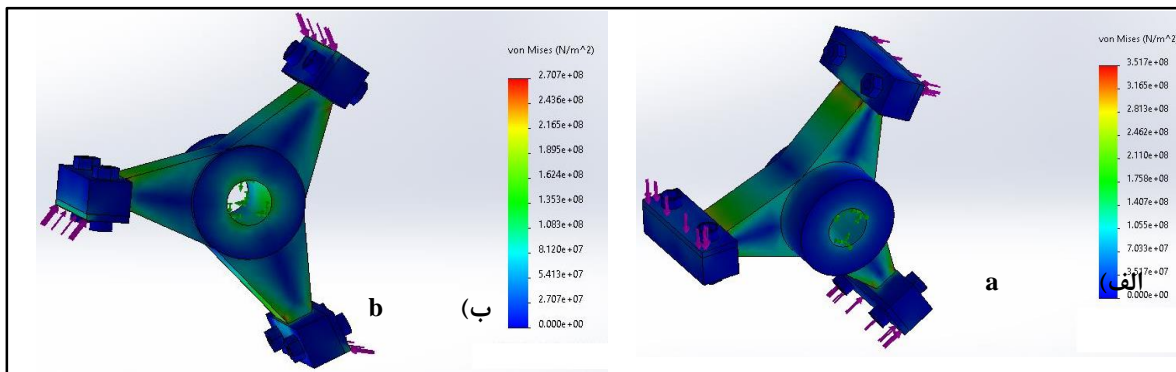


شکل ۸ - الف) حداکثر کرنش محاسبه شده در بارگذاری استاتیک با نیروی عمود بر لبه تیغه و
 ب) در بارگذاری با زاویه ۴۵ درجه نسبت به تیغه، زمانی که کوبنده قفل می‌شود

Fig. 8- a) Maximum strain applied to the crusher arm in static loading with a force perpendicular to the edge of the blade and b) in loading at an angle of 45 degrees to the blade when the crusher is kept

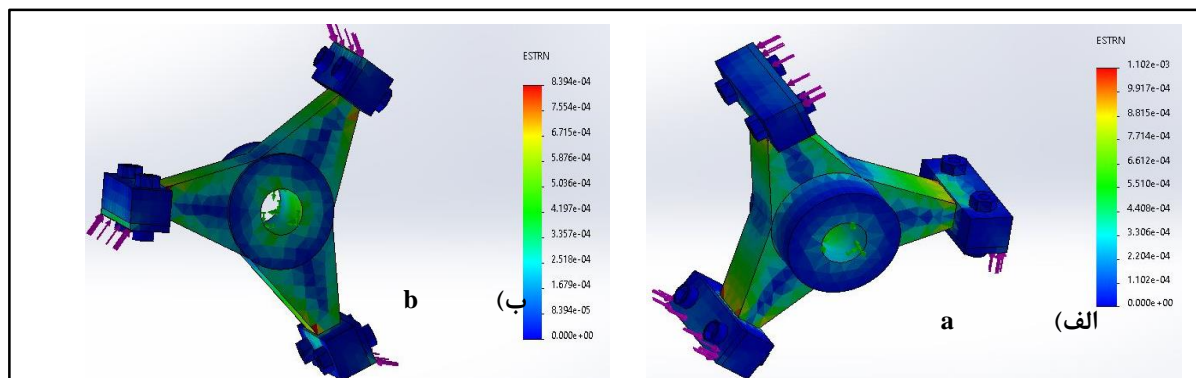
در نظر گرفته شد، محاسبه و تحلیل‌های مشابه با بارگذاری استاتیک مجدداً اجرا شد. به طور مشابه این بارگذاری نیز به دو صورت عمود بر لبه تیغه و با زاویه ۴۵ درجه بر لبه‌های کوبنده اعمال شد. نتایج بیشینه تنش و کرنش به دست آمده در این تحلیل در اشکال ۹ و ۱۰ آورده شده است.

نتایج تحلیل شبه دینامیکی کوبنده دستگاه آسیاب در تحلیل شبه دینامیکی، هدف به دست آوردن بیشینه تنش و تغییر شکل بازوهای کوبنده در بارگذاری‌های ضربه‌ای احتمالی است. در این تحلیل، بارگذاری شبه دینامیکی با ضرب بیشینه بار اعمالی بر بازوی کوبنده در ضربه بار دینامیکی، که در اینجا معادل ۴ (سخت‌گیرانه‌ترین حالت)



شکل ۹ - الف) حداکثر تنش اعمالی بر کوبنده در بارگذاری شبه دینامیک با نیروی عمود بر لبه تیغه و
 ب) در بارگذاری با زاویه ۴۵ درجه نسبت به تیغه

Fig. 9- a) Maximum stress applied to the crusher arm in pseudo-dynamic loading with a force perpendicular to the edge of the blade and b) in loading at an angle of 45 degrees to the blade



شکل ۱۰- الف) حداکثر کرنش محاسبه شده در بارگذاری شبه دینامیک با نیروی عمود بر لبه تیغه و
ب) در بارگذاری با زاویه ۴۵ درجه نسبت به تیغه

Fig. 10- a) Maximum strain applied to the crusher arm in pseudo-dynamic loading with a force perpendicular to the edge of the blade and b) in loading at an angle of 45 degrees to the blade

گرد و غبار از دو طرف محور کوبنده دستگاه، عایق‌بندی صحیح صورت گرفت. قطعات شاسی و بدنه، بعد از برش کاری دقیق در گارگاه آهنگری، با جوشکاری به روش CO₂ به هم متصل شدند. کوبنده و ضدکوبنده به روش ریخته‌گری تولید و بعد از ماشین‌کاری نهایی شدند. تیغه‌های کوبنده روی کوبنده به صورت قابل تنظیم پیچ شدند. ضدکوبنده به صورت اتصال خاری در بدنه جایگذاری و محکم شد. موتور روی شاسی آسیاب به گونه‌ای نصب شد که محور آن در محفظه آسیاب قرار گیرد و کوبنده روی محور آن مونتاژ شد. شکل ۱۱ نشان‌دهنده قطعات آسیاب و آسیاب ساخته شده است.

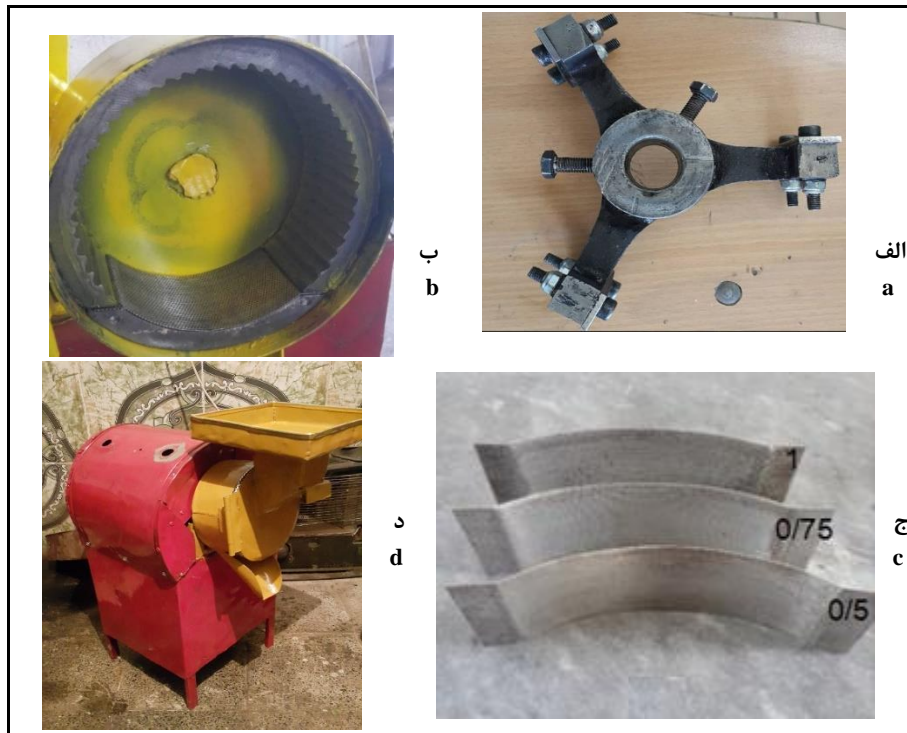
ارزیابی دستگاه آسیاب

مشخصات فیزیکی نمونه‌های میوه سنجد تهیه شده میانگین ابعاد میوه سنجد مورد استفاده در آزمون پودر کردن با آسیاب طراحی و تولید شده، در جدول ۳ آورده شده است.

نتایج بررسی‌ها نشان می‌دهد بیشینه تنش اعمال شده بر اساس معیار فون میسز بر کوبنده ۳۵۱/۷ مگاپاسکال در بارگذاری شبه دینامیکی عمودی بر بازوی کوبنده حاصل شده است. مقایسه این مقدار تنش با تنش تسلیم قطعه کوبنده (۳۷۹ مگاپاسکال) نیز نشان می‌دهد که تنش وارده بر قطعه کوبنده در سخت‌گیرانه‌ترین حالت ممکن کمتر از تنش حد تسلیم این قطعه است و قطعه در سنگین‌ترین حالت‌های بارگذاری به صورت مطمئن به کار خود ادامه می‌دهد. حداکثر کرنش محاسبه شده لبه کوبنده برابر با 1.102×10^{-3} میلی‌متر در این بارگذاری محاسبه شد.

ساخت دستگاه آسیاب

بعد از طراحی، تحلیل و کسب اطمینان نسبی از استحکام قطعه کوبنده، دانش فنی قطعات طراحی شده استخراج و قطعات به شرح زیر ساخته شد. ارتفاع شاسی دستگاه آسیاب نیم‌متر و به شکل مربعی در نظر گرفته شد. برای جلوگیری از خروج



شکل ۱۱- قطعات و نمونه اولیه آسیاب ساخته شده الف) کوبنده و تیغه‌های آن، ب) ضدکوبنده و محل نصب سینی روی آن، ج) سینی‌های ضدکوبنده و د) دستگاه آسیاب

Fig. 11. a) Parts and a prototype of the manufactured mill machine a) crusher and its blades, b) anti-crusher and the tray installation place on it, c) anti-crusher trays and d) the oleaster fruit mill machine

جدول ۳- میانگین ابعاد میوه سنجد مورد استفاده در ارزیابی دستگاه

Table 3. Mean dimensions of the used oleaster fruits in the evaluation of the machine

Mean diameters (mm) قطر متوسط		Dimensions (mm) میانگین ابعاد محوری			درصد رطوبت
(Dg) میانگین هندسی	(Da) میانگین حسابی	ضخامت (T)	عرض (W)	طول (L)	(MC _{ab} %)
16.05	39.91	12.37	12.36	23.43	نزدیک صفر Close to zero
16.43	41.10	12.43	12.43	24.53	5
22.03	53.63	18.7	18.8	28.6	10

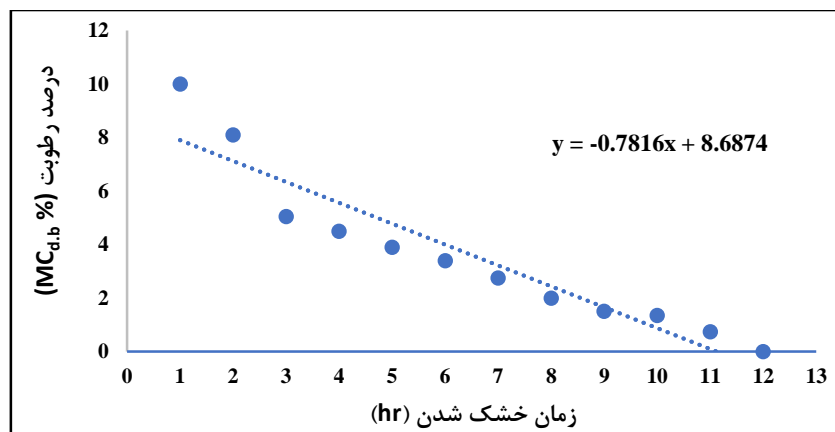
تصویر کشیده شده است. بعد از تعیین درصد رطوبت نمونه‌ها در زمان‌های مختلف، سه رطوبت نزدیک به صفر درصد، ۵ و ۱۰ درصد برای اجرای آزمون‌های پودر کردن در سه تکرار در نظر گرفته شد.

خشک کردن و آماده‌سازی نمونه‌های میوه سنجد برای ارزیابی دستگاه آسیاب با استفاده از رابطه ۹ رطوبت نمونه‌ها اندازه‌گیری و ثبت شد. میزان رطوبت نمونه‌ها در جدول ۴ و روند خشک شدن آنها در شکل ۱۲ به

جدول ۴- اندازه‌گیری رطوبت نمونه‌های میوه سنجد

Table 4- Measuring the moisture content of oleaster fruit samples

نمونه Sample	دمای خشک‌کن (°C)	زمان (hr)	وزن نمونه مرطوب (Wet weight, g)	وزن نمونه خشک (Dry weight, g)	درصد رطوبت (MC/d.b)
1	70	1	200	180.8	10.6
2		2	196.2		8.1
3		3	190.1		5.05
4		4	189		4.5
5		5	187.8		3.9
6		6	186.8		3.4
7		7	185.5		2.75
8		8	184		2
9		9	183.4		1.5
10		10	183		1.35
11		11	182.7		0.735
12		12	180.8		~0



شکل ۱۲- زمان خشک شدن و درصد رطوبت نمونه‌های میوه سنجد

Fig. 12- Drying time and MC_{ab} percentage of the oleaster fruit samples

آسیاب کردن نمونه‌ها

ذرات نیاز به کوبش مجدد دارند تا به ذرات ریزتری تبدیل شوند. کمترین میزان پودر شدن نمونه‌ها برای سرعت دورانی ۷۵۰ و ۱۰۰۰ دور بر دقیقه و مقدار رطوبت ۱۰ درصد حاصل شد. نتایج تحقیق همچنین نشان داد با افزایش سرعت دورانی کوبنده از ۷۵۰ به ۱۵۰۰ دور بر دقیقه و کاهش میزان رطوبت از ۱۰ به نزدیک صفر درصد، میزان پودرشدگی میوه سنجد به ترتیب ۴/۳۵ درصد و ۲۴/۲۱ درصد افزایش پیدا می‌کند. با کاهش درصد رطوبت میوه سنجد، مقدار چسبندگی آن به دیواره‌های ضدکوبنده نیز کاهش می‌یابد.

نتایج حاصل از آسیاب کردن ۳۶ نمونه میوه سنجد با رطوبت و تنظیم‌های مختلف دستگاه آسیاب در جدول ۵ آورده شده است. نتایج تحقیق نشان می‌دهد که نمونه با رطوبت نزدیک به صفر درصد و با تنظیمات دستگاه آسیاب در سرعت کوبنده ۱۵۰۰ دور بر دقیقه و سینی ضدکوبنده با اندازه مش‌های ۰/۷۵ میلی‌متر، بالاترین میزان پودرشدگی (۸۰/۱۶) را ایجاد کرده است. ذرات بزرگ‌تر از ۲۵۰ میکرون، باقیمانده میوه پودر شده (۱۹/۸۴ درصد)، روی الک‌های لرزان به دست آمد. این درصد باقیمانده

جدول ۵- درصد پودرشدگی نمونه‌های میوه سنجد با تنظیم‌های مختلف دستگاه آسیاب ساخته شده

Table 5- Pulverization percentage of oleaster samples by different settings of the manufactured mill machine

میانگین درصد پودرشدگی سه تکرار Mean pulverization percentage (%)	درصد خردشدگی (درصد، ذرات کوچکتر از ۲۵۰ میکرون) Pulverization percentage (%)			درجه سینی دستگاه sieve dimension (mm)	درصد رطوبت (MC _{d.b} %)	دور کوبنده (rpm)
	تکرار ۳ Repeat 3	تکرار ۲ Repeat 2	تکرار ۱ Repeat 1			
75.80	76.51	76.01	74.89	0.5	~ 0	
77.80	78.41	79.31	75.67	0.75	~ 0	
75.67	76.40	75.17	75.45	1	~ 0	
73.22	73.48	71.90	74.28	0.5	5	
74.98	73.64	76.44	74.86	0.75	5	750
78.28	77.34	78.99	78.97	1	5	
0	0	0	0	0.5	10	
0	0	0	0	0.75	10	
38.67	36.45	43.0	36.55	1	10	
76.67	78.58	78.52	72.93	0.5	~ 0	
78.02	77.74	78.75	77.57	0.75	~ 0	
78.26	78.41	77.24	79.14	1	~ 0	
75.05	74.91	74.28	75.96	0.5	5	
77.14	77.75	75.75	77.91	0.75	5	1000
77.63	77.30	78.10	77.50	1	5	
45.02	54.25	40.60	40.20	0.5	10	
45.18	55.35	40.30	39.90	0.75	10	
50.97	52.85	48.75	51.30	1	10	
77.65	78.36	77.46	77.13	0.5	~ 0	
77.822	78.47	79.75	75.22	0.75	~ 0	
72.67	76.68	77.24	76.23	1	~ 0	
76.37	73.22	78.44	77.44	0.5	5	
77.33	72.01	80.07	79.92	0.75	5	1250
78.27	77.80	78.10	78.90	1	5	
44.47	47.45	43.15	42.80	0.5	10	
46.33	52.15	42.95	43.90	0.75	10	
49.33	55.0	47.10	45.90	1	10	
79.72	81.37	80.48	77.29	0.5	~ 0	
80.16	80.43	79.80	80.26	0.75	~ 0	
78.65	78.19	78.13	79.64	1	~ 0	
77.10	75.33	77.86	78.12	0.5	5	
79.33	79.65	78.90	79.44	0.75	5	1500
77.65	80.05	76.83	76.08	1	5	
57.22	55.35	58.0	58.30	0.5	10	
55.12	61.40	51.60	52.35	0.75	10	
49.92	57.75	45.55	45.45	1	10	

جدول ۶- نتایج تأثیر سرعت، رطوبت و نوع الک بر درصد پودرشدگی میوه سنجد آسیاب شده

Table 6. Effect of speed, MC_{d,b} and sieve type on the percentage of ground oleaster powder

Sig	F	میانگین مربعات	مجموع مربعات	درجه آزادی	منابع تغییرات
0.000	74.897**	467.868	16843.232	36	مدل (Corrected model)
0.000	28.459**	177.777	533.330	3	دور (rpm)
0.000	49.477**	309.075	618.149	2	رطوبت (MC _{d,b} %)
0.002	6.610**	41.290	82.580	2	الک (Sieve)
0.000	22.260**	193.056	834.333	6	دور×رطوبت (rpm×MC _{d,b})
0.002	3.923**	24.505	147.028	6	دور×الک (rpm×Sieve)
0.000	4.132**	25.812	412.992	16	دور×رطوبت×الک (rpm×MC _{d,b} ×Sieve)
		6.247	449.772	72	خطای آزمایش (E)
			17293.004	108	کل (G)

** و * به ترتیب بیانگر معنی‌دار بودن در سطح ۱ درصد و ۵ درصد

نتیجه‌گیری

در این پژوهش طراحی سه بعدی و تحلیل رایانه‌ای دستگاه آسیاب میوه سنجد در نرم‌افزار SolidWorks اجرا شد. بعد از طراحی سه بعدی، تنش‌های مجازی وارد شده بر قطعه کوبنده ناشی از ضربات هنگام آسیاب کردن محاسبه شد و نتایج نشان داد قطعه طراحی و تولید شده از آلیاژ چدن نشکن از نظر مقاومت مکانیکی استحکام کافی را دارد. بعد از حصول اطمینان از استحکام قطعه کوبنده، اجزای دستگاه آسیاب میوه سنجد شامل کوبنده، ضدکوبنده، محفظه خردکن، شاسی با ابعاد و اندازه‌های مشخص تولید و بعد از نصب موتور الکتریکی روی محور کوبنده، دستگاه آماده ارزیابی شد. دستگاه آسیاب سنجد با اندازه‌گیری میزان پودرشدگی میوه سنجد (ذرات کوچک‌تر از ۲۵۰ میکرون) در خروجی آسیاب در رطوبت‌های مختلف میوه و تنظیم‌های مختلف دستگاه در سه تکرار ارزیابی شد. نتایج تحلیل آماری نشان داد بیشترین میزان پودرشدگی در سرعت دورانی ۱۵۰۰

نتایج تحلیل آماری نشان می‌دهد تأثیر سرعت دورانی، رطوبت و الک و اثر متقابل آنها بر اندازه ذرات پودر میوه سنجد در سطح ۱ درصد معنی‌دار است. با افزایش رطوبت، میزان هسته‌های خرد شده کاهش یافته است. با افزایش سرعت دورانی، تعداد ضربات در زمان ثابت بیشتر شده و در نتیجه درصد پودرشدگی نیز افزایش یافته است. با اجرا کردن آزمون مقایسه میانگین توکی، بیشترین میزان پودرشدگی میوه سنجد و بهترین عملکرد دستگاه آسیاب، در سرعت دورانی ۱۵۰۰ دور بر دقیقه، رطوبت نزدیک به صفر درصد و سینی با اندازه مش‌های ۰/۷۵ میلی‌متر به دست آمد. با توجه به اینکه دست یافتن عملیاتی به رطوبت نزدیک به صفر درصد زمان‌بر و ممکن است به خواص تغذیه‌ای محصول آسیب وارد کند رطوبت ۵ درصد برای آسیاب کردن میوه سنجد در نظر گرفته شد. ظرفیت کلی دستگاه در سرعت دورانی ۱۵۰۰ دور بر دقیقه، سینی با اندازه مش‌های ۰/۷۵ میلی‌متر و محصول با رطوبت ۵ درصد ۳۰ کیلوگرم بر ساعت محاسبه شد.

دور بر دقیقه، رطوبت نزدیک به صفر درصد و سینی با اندازه مش‌های ۰/۷۵ میلی‌متر به دست می‌آید. با توجه به اینکه دست یافتن عملیاتی به رطوبت‌های نزدیک به صفر درصد زمان‌بر و هزینه‌آلود دارد و همچنین ممکن است به خواص تغذیه‌ای محصول آسیب وارد کند رطوبت ۵ درصد برای آسیاب کردن میوه سنجد پیشنهاد می‌شود. موتور الکتریکی تک فاز ۲ کیلووات، سرعت کوبنده ۱۵۰۰ دور بر دقیقه و سینی کوبنده با مش‌های ۰/۷۵ میلی‌متر نیز برای تولید دستگاه آسیاب میوه سنجد پیشنهاد می‌شود.

مراجع

- Amiri Tehranizadeh, Z., Baratian, A., & Hosseinzadeh, H. (2016). Russian olive (*Elaeagnus angustifolia*) as an herbal healer. *Bioimpacts*, 6(3), 155-167.
- Ayoubi, A. (2018). The Effect of Wheat Flour Replacement with *Elaeagnus Angustifolia* powder on quality characteristics of cupcake. *Iranian Journal of Nutrition Sciences and Food Technology*, 13(2), 79-88.
- Besharati Givi, M. K. (2011). *Production and technology engineering*. First Vol. First Ed. Tehran University Press. (in Persian)
- Changrie, V. (1999). Development of corn husker sheller (Master Thesis), Agricultural Engineering Graduate School, Kasetsart University, Bangkok, Thailand.
- Guo, Z. J., Zhou, Z. L., Zhang, Y., & Li, Z. L. (2009). Bionic optimization research of soil cultivating component design. *Science in China Series*, 52, 955-965.
- Hamidpour, R., Hamidpour, S., Hamidpour, M., Shahlari, M., Sohraby, M., Shahlari, N., & Hamidpour, R. (2017). Russian olive (*Elaeagnus angustifolia* L.): From a variety of traditional medicinal applications to its novel roles as an active antioxidant, anti-inflammatory, anti-mutagenic, and analgesic agent. *Journal of Traditional and Complementary Medicine*, 7, 24-29.
- Henderson, M. S., & Perry, R. L. (1982). *Size reduction: Agricultural process engineering*. Third Ed. AVI Publishing Company, Westport.
- Hernandez, L., & Belles, P. (2007). A 3D finite element analysis of the sunflower (*Helianthus annuus* L.) fruit. Biomechanical approach for the improvement of its hull ability. *Journal of Food Engineering*, 78, 861-869.
- Hmoad, N. R., Abdulkareem, A. A., & Abdullah, M. Q. (2020). Dynamic load factor for single element camshaft under harmonic excitation. *Journal of Mechanical Engineering Research and Development*, 43(3), 224-234.
- Jovanovic, D., & Milenković, B. (2021). *Determination of dynamic load factor for single-element camshaft using various laws of follower motion. Proceedings of the 8th International Congress of Serbian Society of Mechanics Kragujevac*, June 28-30, Serbia.
- Karampour, M., Meamar Dastjerdi, R., Rahnama, M., & Saadatfard, M. (2018). Investigating the factors affecting the amount of date pit powder in a model mill. *Food Engineering Research*, 18(27), 127-140. (in Persian)
- Kawuyo, U. A., Chineke, M. N., Ahmad, A. B., & Amune, E. O. (2014). Grain milling machine. Paper I: Design and construction. *Arid Zone Journal of Engineering, Technology and Environment*, 10, 75-84.
- Mohsenin, N. N. (1986). *Physical properties of plant and animal materials* (revised 2nd ed.). New York, Gordon and Breach Science Publications.

- Nasir, A. (2005). Development and Testing of a Hammer Mill. *Material Sciences*, 13, 451-467.
- Noreen, A., Raza, G., Ali, H., Hussain, K., Uddin, S., Zehra, Q., Hussain, B., Hussain, S. W., Abbas, Y., Alam, R., & Ali, N. (2016). The concentration of macronutrients in dry foliage of Russian olive (*elaegnus angustifolia*). *Asian Journal of Agriculture and Biology*, 4(4), 99-107.
- Nwaigwe, K. N., Nzediegwu, C., & Ugwuoke, P. E. (2012). Design, Construction and Performance Evaluation of a Modified Cassava Milling Machine. *Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology*, 1, 1-11.
- Ozturk, H. I., Aydina, S., Sozerib, D., Demircia, T., Sertc, D., & Akına, N. (2018). Fortification of set-type yoghurts with *Elaeagnus angustifolia* L. flours: Effects on physicochemical, textural, and microstructural characteristics. *Food Science and Technology*, 90, 620–626.
- Perry, H. R., & Don, G. W. (1998). *Size reduction and enlargement: Perry's chemical engineering handbook*. Seventh Ed. McGraw-Hill International Publishers, New York.
- Ramezani, M., Hoseseinzadeh, H., & Aneshmand, N. (2001). Antinociceptive effect of *Elaeagnus angustifolia* fruit seeds in mice. *Fitoterpia*, 72, 255-262.
- Rasekh, M., Asadi, M. R., Jafari, A., & Kheiralipour, K. (2009). Obtaining maximum stresses in different parts of tractor (Mf-285) connecting rods using finite element method. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, 3(2), 1438-1449.
- Sabeti, H. (2008). *Forest, trees, and shrubs of Iran*. Iran University of Science and Technology Press, Tehran. (in Persian)
- Sahan, Y., Gocmen, D., Cansev, A., Celik, G., Aydin, E., Dundar, A. N., Dulger, D., Kaplan, H. B., Kilci, A., & Gucer, S. (2015). Chemical and technical-functional properties of peeled flours and Peeled Oleaster (*Elaeagnus angustifolia* L.). *Journal of Applied Botany and Food Quality*, 88, 34- 41.
- Shigley, J. E., & Mischke, C. R. (1989). *Mechanical design*. McGraw-Hill Pub.
- Tanko, H., Carrier, D., Duan, L., & Clausen, E. (2005). Pre-and post-harvest processing of medicinal plants. *Plant Genetic Resources*, 3, 304-313.
- Tuan, Z., Hojjati, M., Nasehi, B., & Jooyandeh, H. (2017). Effect of sesame meal and soluble soybean polysaccharide on properties of Barbary bread. *Iranian Journal of Biosystems Engineering*, 48(2), 233-242.
- Williams, G. D., & Roentrater, K. A. (2007). Design considerations for the construction and operation of flour milling facilities. Part I: Planning, structural, and life safety considerations. An ASABE Meeting Presentation. Paper Number: 074116. doi:10.13031/2013.23453.

Research Paper

Design, Manufacture, and Evaluation of an Oleaster Mill Machine

M. Ahmadpour Omouei, S. Kiani*, M. Ghasemi Varnamkhasti and Z. Izadi

*Corresponding Author: Assistant Professor, Biosystems Engineering Department, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran. Email: kiani.sajad@gmail.com

Received: 4 August 2022, Accepted: 12 November 2022

[http://doi: 10.22092/AMSR.2022.359618.1424](http://doi.org/10.22092/AMSR.2022.359618.1424)

Abstract

This study aimed to design, perform static and dynamic analysis, manufacture, and evaluate an oleaster mill machine. It was designed from a crusher, anti-crusher, tray, body, chassis, inlet, and outlet. After the 3D design, static and dynamic analyses were performed to confirm the strength of the crusher. Then, the technical knowledge (drawings) was extracted and used to manufacture the machine through sheet metal and welding (body and its accessories) as well as casting-machining methods (crusher and anti-crusher parts). An electric motor (2.206 kW) was utilized to rotate the crusher. The manufactured machine was evaluated by measuring the amount of pulverization of oleaster fruit (particles smaller than 250 microns) at various moisture content of the fruit (close to 0% or no change in the moisture content of the sample at 70 °C, 5%, and 10%), different speeds of the crusher (750, 1000, 1250, 1500 rpm) and different sizes of tray meshes (0.5, 0.75 and 1 mm) in the form of a factorial experiment based on a completely randomized design in three replications. Statistical analysis showed that the maximum amount of pulverization (80.16) was achieved at the highest rotating speed of the crusher, with the size of tray meshes of 0.75 mm, and samples at moisture content close to zero. By a similar setup, the pulverization was calculated at 79.33% and 55.12% at 5% and 10% moisture content of the samples, respectively. For the manufactured machine and samples at 5% moisture content, which is recommended, the total capacity was calculated at 30 kg/h.

Keywords: Computer Design, Core, Crusher, Rotary Speed



© 2022 Agricultural Mechanization and Systems Research, Karaj, Iran. This is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0 license)