

تأثیر سرعت پوست‌گیر ضربه‌ای و رطوبت دانه بر شاخص‌های عملکردی فرآیند پوست‌گیری یولاف

سپیده عرب^۱، مرتضی صادقی^{۲*} و مهرنوش جعفری^۳

چکیده

یولاف، یکی از غلات مورد مصرف در جهان است و مصرف مقادیر مناسب آن می‌تواند به عنوان بخشی از رژیم غذایی بدون گلوتن برای افراد مبتلا به بیماری سلیاک استفاده شود. از سوی دیگر این غله دارای پوسته‌ای است که توسط دستگاه گوارش انسان هضم نمی‌شود و نیاز به پوست‌گیری دارد. در این پژوهش یک پوست‌گیر ضربه‌ای یولاف آزمایشگاهی طراحی، ساخته و ارزیابی شد. آزمایش‌های پوست‌گیری یولاف رقم هاشمی در ۵ سطح سرعت دورانی روتور (۱۰۰۰، ۱۲۵۰، ۱۵۰۰، ۱۷۵۰ و ۲۰۰۰ دور در دقیقه) و ۳ سطح رطوبت (۶، ۹ و ۱۲ درصد بر پایه تر) در سه تکرار انجام شد و اثر این متغیرها بر درصد دانه پوست‌گیری شده ($GP\%$)، بازده پوست‌گیری (DHE)، درصد دانه‌های شکسته شده ($B\%$)، عملکرد دانه‌های شکسته نشده ($GY\%$) و عملکرد تبدیل ($MY\%$) مطالعه گردید. داده‌های آزمایشی، در قالب طرح فاکتوریل کاملاً تصادفی در سطح آماری ۱ درصد بررسی شدند. نتایج نشان داد که $GY\%$ با افزایش سرعت دورانی روتور و رطوبت دانه، ابتدا افزایش و سپس کاهش یافت. مقدار DHE با افزایش سرعت دورانی روتور و رطوبت دانه، روند صعودی نشان داد. درصد دانه‌های شکسته شده نیز با افزایش سرعت دورانی روتور افزایش و با افزایش رطوبت دانه، کاهش یافت. مشاهده شد دانه‌هایی که در برابر پوست‌گیری مقاوم‌تر بودند، در برابر شکست هم مقاومت بیشتری از خود نشان دادند. در هر رطوبت دانه، سرعت دورانی که بیش‌ترین $GY\%$ را داشت، به عنوان بهترین سرعت دورانی روتور در نظر گرفته شد. عملکرد تبدیل و درصد دانه پوست‌گیری نشده و مقدار DHE رابطه مستقیم داشت و با افزایش سرعت دورانی روتور، روند صعودی و با افزایش رطوبت دانه روند نزولی را نشان داد. بهترین سرعت دورانی روتور و محتوای رطوبتی برای پوست‌گیری دانه‌های یولاف به ترتیب ۱۷۵۰ دور در دقیقه و ۱۲ درصد بر پایه تر هستند.

واژه‌های کلیدی: یولاف، پوست‌گیر ضربه‌ای، بیماری سلیاک، بازده پوست‌گیری، دانه‌های شکسته، عملکرد تبدیل.

ارجاع: عرب س. صادقی م. و جعفری م. ۱۴۰۲. تأثیر سرعت پوست‌گیر ضربه‌ای و رطوبت دانه بر شاخص‌های عملکردی فرآیند پوست‌گیری یولاف. نشریه پژوهش‌های مکانیک ماشین‌های کشاورزی. ۲۹: ۴۴-۴۳. <https://dx.doi.org/10.22034/JRMAM.2023.14272.653>

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان.

۲- دانشیار، گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان.

۳- استادیار، گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان.

* نویسنده مسئول: sadeghimor@iut.ac.ir

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۲/۳۰

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۱/۲۸

مقدمه

هزاران سال است که غلات نقش مهمی در تأمین غذای بشر ایفا می‌کنند. غلات^۱، به گیاهانی یک‌ساله، علفی و تک‌لپه‌ای از خانواده گندمیان اطلاق می‌شود که دانه‌های ریز آن‌ها مصرف خوراکی دارند. تقریباً بخش عمده‌ای از نیازهای غذایی انسان به ویژه در آسیا، به طور مستقیم و غیرمستقیم از غلاتی مانند گندم، جو، چاودار و یولاف (جودوسر) تأمین می‌شود (Farhadian, 2015). یولاف، غله‌ای است که مواد مغذی و مقدار درصد انرژی سوخت و ساز بسیار زیادی نسبت به دیگر غلات دارد (Peltonen, et al., 2004) و امروزه بسیار مورد توجه قرار گرفته است. این گیاه، از خانواده گندمیان است و گونه مورد کشت آن *اونا ساتیوا*^۲ است. در واقع یولاف، گیاهی علفی و یک‌ساله، دارای یک سری برجستگی‌های مویی مانند به نام تریکوم^۳ است که در هوا معلق شده و باعث سوزش و خارش بدن می‌شوند. این دانه بر خلاف اکثر غلات، دارای پوسته‌ای است که مصرف آن را برای انسان محدود کرده است. این پوسته، فیبری، بدون طعم و فاقد ارزش غذایی است و ۳۰ درصد وزن دانه را به خود اختصاص می‌دهد. بنابراین، جداسازی آن ضروری است. این غله، برای اولین بار در اصفهان به طور زراعی کشت شد (Farhadian, 2015). همه انواع دانه یولاف، سرشار از مواد مهم بیولوژیکی هستند (Sterna et al., 2016) که خطر ابتلا به بیماری‌های مختلف (قلبی و کرونری، دیابت و سرطان) را کاهش می‌دهد (Sontag-Strohm et al., 2008). این غله، در طب قدیم به عنوان گیاه دارویی مورد استفاده قرار می‌گرفته است (Farhadian, 2015). یولاف همچنین دارای ارزش غذایی بالا، عطر و طعم خوش و ماندگاری مناسب است. نتایج به دست آمده از مطالعات بالینی طولانی مدت نشان داده‌اند که مصرف مقادیر مناسب یولاف می‌تواند به عنوان بخشی از رژیم غذایی بدون گلوتن^۴ (GFD) برای افراد مبتلا به بیماری سلایک^۵ (CD) استفاده شود (Sontag-Strohm et al., 2008). البته در صورتی که سطح گلوتن آن‌ها کم‌تر از ۲۰ ppm باشد (Smulders et al., 2018).

سلیاک، یک اختلال خودایمنی روده باریک با زمینه ژنتیکی است که افراد مبتلا به آن در صورت مصرف پروتئینی از دسته گلوتن دچار علائم عدم تحمل می‌شوند. در بین مردم جهان یک درصد به این بیماری مبتلا هستند و مصرف نان و غلات عاری از گلوتن برای آن‌ها حیاتی است. گلوتن، پروتئینی است که باعث تحریک بیماری سلایک می‌شود و افراد مبتلا به این بیماری نباید در رژیم غذایی خود از آن استفاده کنند (Sontag-Strohm et al., 2008). در واقع، تنها درمان برای بیماران مبتلا به سلایک، استفاده از رژیم غذایی بدون گلوتن است. بدان معنی که از گندم، چاودار و جو در این رژیم غذایی نباید استفاده شود (Tapsas et al., 2014). در نتیجه، گنجاندن یولاف در GFD با توجه به ارزش غذایی و فواید آن، بسیار ارزشمند است و باعث بهبود تنوع غذایی افراد مبتلا به بیماری سلایک می‌شود (Cohen et al., 2019). همان‌طور که گفته شد، مصرف انسانی یولاف نیازمند انجام فرآیندهایی مانند پوست‌گیری بوده (Farhadian, 1394) و ساخت دستگاه‌های مربوط به این فرآیند ضروری است. در گذشته، پوست‌گیری یولاف با دست انجام می‌شد که روشی قابل اطمینان و دقیق ولی بسیار زمان‌بر بود و فقط مقادیر کم یولاف با این روش قابل پوست‌گیری بودند. در این زمینه، پوست‌گیرهای مختلفی مانند پوست‌گیر هوا-فشرده، پوست‌گیر غلطکی و پوست‌گیر ضربه‌ای که نتایج قابل قبولی را نیز داشته‌اند، ساخته شده است. پوست‌گیر هوا-فشرده از جریان هوای تحت فشار برای اعمال شوک مکانیکی برای پوست‌گیری دانه یولاف استفاده می‌کند. نمونه‌ها، تحت فشار هوای مناسب، درجه‌ی هوای ثابت و در مدت معین پوست‌گیری می‌شوند. پس از پوست‌گیری، دانه‌ها از یک دمنده ثانویه عبور می‌کنند تا پوسته‌های باقی‌مانده جدا شوند. در پوست‌گیر غلطکی، دانه‌های یولاف با دست، بین دو غلطک ماشینی تغذیه می‌شوند که پوسته‌ها را جدا کرده و دانه‌ها را درون مخزن می‌ریزد. پوست‌گیر غلطکی نسبت به پوست‌گیری با دست، یولاف‌ها را سریع‌تر پوست‌گیری می‌کند، ولی این روش هم فقط برای مقادیر کم یولاف مناسب است (Doehlert & McMullen, 2001). مریخی یک دستگاه پوست‌گیر یولاف از نوع تسمه‌ای ساخت. در این پژوهش سازوکار جدا کننده پوست، تماس دانه با سطح دو تسمه نقاله بود که تسمه بالایی با سرعت

1- Cereals

2- *Avena sativa*

3- Trichomes

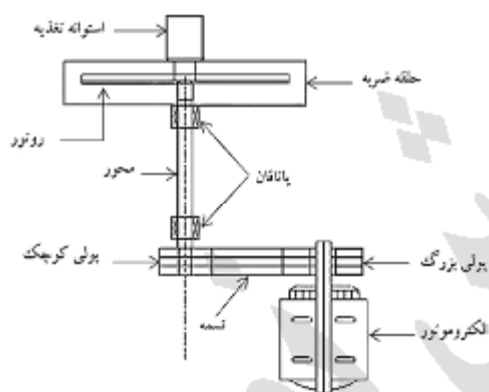
4- Gluten free diet

5- Celiac disease

مواد و روش‌ها

تهیه نمونه‌ها و دستگاه پوست‌گیر ضربه‌ای

در این پژوهش، یولاف رقم هاشمی از شرکت پاکان بذر اصفهان تهیه شد. ابتدا ویژگی‌های فیزیکی مورد نظر این دانه یولاف از جمله ابعاد، قطرهای میانگین حسابی و هندسی و ضریب کرویت (Kara et al., 2013)، چگالی ظاهری و حقیقی و زاویه پایداری تخلیه‌شدگی (Benjamin & Lazaro, 2019)، وزن هزار دانه (Malik & Saini, 2016) و رطوبت (Doehlert & McMullen, 2001) اندازه‌گیری و تعیین شدند. سپس، به طراحی و ساخت دستگاه پوست‌گیر ضربه‌ای پرداخته شد. اجزای طراحی شده دستگاه در نرم‌افزار Solidworks نسخه ۲۰۱۷ شبیه‌سازی شد. نمای اولیه پوست‌گیر ضربه‌ای یولاف در شکل ۱ نشان داده شده است.



شکل ۱- نمای پوست‌گیر ضربه‌ای یولاف طراحی و ساخته شده

در دستگاه ساخته شده، محفظه پوست‌گیری از یک روتور به قطر ۵۰۰ میلی‌متر که ۱۲ پره برای هدایت دانه‌ها روی آن جوش داده شد، محور پوست‌گیر که از مرکز روتور عبور می‌کند و یک حلقه ضربه^۶ هم‌مرکز با روتور تشکیل شده است. در انجام آزمایش‌های پوست‌گیری، دانه‌های یولاف از طریق یک استوانه تغذیه که در مرکز روتور تعبیه شده بود، به درون محفظه پوست‌گیری تغذیه می‌شدند. دانه‌ها از طریق پره‌ها و در اثر نیروی گریز از مرکز، با سرعت زیاد از روتور خارج شده و به حلقه ضربه برخورد می‌کردند. این ضربه، باعث شکسته شدن پوسته دانه‌ها و جداسازی آن‌ها از دانه می‌شد. جنس حلقه ضربه و بدنه

بیشتری از کنار دانه‌ها عبور می‌کرد. علاوه بر مطالعه وضعیت کاری پوست‌گیر که توسط کاربر اعمال می‌شد، مشخصات فیزیکی و مکانیکی ارقام یولاف مورد آزمایش شامل طول، عرض، ضخامت و وزن هزار دانه یولاف نیز اندازه‌گیری شد (Merikhi, 2015). پوست‌گیری ضربه‌ای یکی از دیگر روش‌های صنعتی است که به طور گسترده برای جدا کردن پوسته‌های سخت و غیر قابل خوردن استفاده می‌شود (Gates, 2007). در این روش پوست‌گیری، برخورد دانه‌ها با دیواره پوست‌گیر باعث جدا شدن پوسته از دانه می‌شود (Doehlert & McMullen, 2001). به این صورت که، یولاف‌ها به درون یک محور توخالی که در مرکز روتور مجهز به پره قرار دارد، هدایت شده و در برابر یک حلقه ضربه پرتاب می‌شوند. این حلقه، به بدنه پوست‌گیر متصل است و می‌تواند از جنس لاستیک، پلاستیک، فولاد و یا کامپوزیت باشد (Gates, 2007). در عملیات پوست‌گیری با پوست‌گیر ضربه‌ای یولاف، دانه از سر به حلقه ضربه برخورد کرده، از سرعت آن کاسته شده و نیرویی متناسب با جرم دانه در سطح تماس دانه با حلقه به وجود می‌آید. به محض برخورد دانه با حلقه، پوسته از دانه جدا شده و به چند تکه تقسیم می‌شود (Doehlert et al., 2009).

هدف اصلی از انجام این پژوهش بکارگیری و ارزیابی دستگاه پوست‌گیر ضربه‌ای برای پوست‌گیری رقم بومی هاشمی بود. با توجه به نبود دستگاه‌های پوست‌گیر یولاف در ایران و نیاز کشور و بیماران سلیاکی به یولاف بدون پوست، در این پژوهش برای اولین بار ابتدا یک پوست‌گیر ضربه‌ای یولاف آزمایشگاهی طراحی و ساخته شد و سپس به ارزیابی تأثیر سرعت دورانی روتور و رطوبت بر شاخص‌های عملکردی فرآیند پوست‌گیری یولاف شامل درصد دانه پوست‌گیری شده^۱ (%GP)، بازده پوست‌گیری^۲ (DHE)، درصد دانه‌های شکسته شده^۳ (%B)، عملکرد دانه‌های شکسته نشده^۴ (%GY) و عملکرد تبدیل^۵ (%MY) پرداخته شد.

1- Groat percentage
2- Dehulling efficiency
3- Broken groats
4- Groat yield
5- Mill yield

6- Impact ring

سرعت‌های مختلف با استفاده از اینورتر به دست آمد. قبل از این که نمونه‌ها به درون روتور تغذیه شوند، موتور الکتریکی دستگاه روشن شده و اجازه داده می‌شد تا سرعت آن به مقادیر مورد نظر برسد. پوست‌گیری نمونه‌ها در سرعت‌های ۱۰۰۰، ۱۲۵۰، ۱۵۰۰، ۱۷۵۰ و ۲۰۰۰ دور در دقیقه (به ترتیب معادل سرعت‌های خطی ۵۲/۳۶، ۶۵/۴۵، ۷۸/۵۴، ۹۱/۶۳ و ۱۰۴/۶۷ متر بر ثانیه) انجام شد. برای مطالعه تأثیر رطوبت بر شاخص‌های پوست‌گیری نیز دانه‌ها در سه سطح رطوبت ۶، ۹ و ۱۲ درصد بر پایه تر پوست‌گیری شدند. برای رساندن رطوبت دانه‌ها به رطوبت‌های مورد نظر از معادله (۱) استفاده شد.

$$W_m = W_1 \left[\frac{M_2 - M_1}{100 - M_2} \right] \quad (1)$$

که، M_1 رطوبت اولیه دانه‌های یولاف (درصد)، M_2 رطوبت ثانویه در سطح مورد نظر (درصد)، W_1 جرم اولیه دانه‌ها (گرم) و W_m مقدار آب مورد نیاز برای افزایش رطوبت دانه‌ها (گرم) هستند. پس از محاسبه W_m ، دانه‌ها و آب درون ظرف‌های شیشه‌ای قرار گرفتند و درب ظروف آب‌بندی شد. شیشه‌ها در حین جذب رطوبت به خوبی تکان داده می‌شدند تا عمل جذب رطوبت به صورت یکنواخت در همه دانه‌ها انجام شود. مدت پوست‌گیری برای هر نمونه ۲ دقیقه در نظر گرفته شد (Doehlert et al., 2009). بلافاصله پس از پوست‌گیری، دانه‌ها جمع‌آوری شده و وزن آن‌ها ثبت شد. سپس، نمونه‌ها به صورت دستی به سه گروه دانه‌های مقاوم به پوست‌گیری^۱ (R)، دانه‌های کامل^۲ (G) و دانه‌های شکسته شده^۳ (B) تقسیم شدند (شکل ۳). تمامی آزمایش‌ها در سه تکرار انجام شد.



شکل ۳- تقسیم‌بندی دانه‌های یولاف رقم هاشمی پس از پوست‌گیری به سه گروه: ۱- دانه‌های مقاوم به پوست‌گیری (R)، ۲- دانه‌های کامل (G) و ۳- دانه‌های شکسته (B)

پوست‌گیر از ورق فولادی نورد گرم انتخاب شد. یک موتور برقی سه فاز با توان ۱/۵ کیلووات معادل ۲ اسب بخار و حداکثر دور ۱۴۰۰ (Doehlert et al., 2009) دور در دقیقه و بسامد ۵۰ هرتز برای تأمین حرکت دستگاه انتخاب شد. به منظور دستیابی به سرعت‌های مختلف روتور، از یک اینورتر سه فاز و برای انتقال نیرو از موتور برقی به محور، از یک واحد تسمه و پولی استفاده شد. با توجه به وارد شدن گشتاورهای پیچشی و خمشی به محور، قطر آن برای استحکام در برابر بارهای استاتیکی و دینامیکی تعیین شد. جنس محور از فولاد غیر آلیاژی CK45 انتخاب شد. همچنین یاتاقان‌های شیار عمیق با توجه به قطر محور و نیروهای شعاعی و محوری وارد بر آن انتخاب شدند. قسمت پایینی بدنه، به صورت مورب طراحی شد تا تخلیه دانه‌های یولاف به راحتی انجام شود. همچنین درجه تخلیه دانه‌ها، در پایین‌ترین قسمت بدنه تعبیه شد. در نهایت برای طراحی شاسی پوست‌گیر، مجموع وزن موتور برقی، پولی‌ها، محور، یاتاقان‌ها، استوانه تغذیه، روتور و حلقه ضربه اندازه‌گیری شد. شکل ۲ تصاویر پوست‌گیر ضربه‌ای یولاف ساخته شده را نشان می‌دهد.



شکل ۲- تصاویر پوست‌گیر ضربه‌ای یولاف طراحی و ساخته شده از دو نمای مختلف

انجام آزمایش‌های پوست‌گیری و تعیین شاخص‌های عملکردی

برای پوست‌گیری، دانه‌های یولاف به گروه‌های ۵۰ گرمی تقسیم شدند. محدوده سرعت روتور بین ۱۰۰۰ تا ۲۰۰۰ دور در دقیقه انتخاب شد. برای تنظیم سرعت‌های دورانی مورد نظر از یک دورسنج مدل DT-2858 ساخت شرکت LANDTEK کشور انگلستان استفاده شد و بسامد

1- Resistant to dehulling
2- Whole groats
3- Broken groats

عملکرد دانه‌های شکسته نشده (%GY) که نشان دهنده برقراری تعادل میان بازده پوست‌گیری و شکست دانه است، با استفاده از معادله (۵) برای سرعت‌های مختلف دورانی روتور محاسبه شد و سرعتی که بیش‌ترین عملکرد دانه را داشت، به عنوان بهترین سرعت دورانی روتور تعریف شد.

$$\%GY = \left[\frac{G \times MCF}{WO} \right] \times 100 \quad (۶)$$

عملکرد تبدیل (%MY)، به دانه‌های سالم به دست آمده بعد از پوست‌گیری یولاف با پوست‌گیر ضربه‌ای اشاره دارد و به عنوان نسبت وزنی یولاف‌های مورد نیاز برای تولید ۱۰۰ گرم دانه‌ی سالم (معادله (۶))، یا به عنوان درصدی از دانه‌های سالم به دست آمده از پوست‌گیری نمونه‌های یولاف (معادله (۷)) بیان می‌شود (Brar et al., 2016).

$$\%MY = \left[\frac{(G + B) \times MCF}{WO} \right] \times 100 \quad (۷)$$

$$\%MY = \left[\frac{\%GP}{100} \times \frac{DHE}{100} \right] \times 100 \quad (۸)$$

تجزیه و تحلیل آماری

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها شامل متغیرهای مستقل (سرعت دورانی روتور و رطوبت دانه) و متغیرهای وابسته (درصد دانه پوست‌گیری شده (%GP)، بازده پوست‌گیری (DHE)، درصد دانه‌های شکسته شده (%B)، عملکرد دانه‌های شکسته نشده (%GY) و عملکرد تبدیل (%MY)) در سه تکرار با استفاده از آزمون فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در سطح آماری ۱ درصد انجام شد. برای تجزیه و تحلیل آماری و استخراج جداول تجزیه واریانس و مقایسه میانگین‌ها از نرم‌افزار SAS 9.4 استفاده شد.

نتایج و بحث

مقادیر ویژگی‌های فیزیکی دانه یولاف رقم هاشمی شامل ابعاد، قطرهای میانگین حسابی و هندسی، کرویت، چگالی ظاهری و حقیقی، وزن هزار دانه، رطوبت و زاویه پایداری تخلیه شدگی در جدول ۱ آورده شده‌اند.

جدول ۲ نتایج تجزیه واریانس تأثیر سرعت دورانی روتور و محتوای رطوبتی یولاف رقم هاشمی بر شاخص‌های عملیات پوست‌گیری با پوست‌گیر ضربه‌ای طراحی و ساخته شده را نشان می‌دهد. بر اساس نتایج، سرعت دورانی روتور و محتوای رطوبتی دانه‌ها و همچنین اثر

با توجه به این که تقسیم‌بندی دانه‌های پوست‌گیری شده ممکن است بلافاصله پس از پوست‌گیری دانه‌ها انجام نشود، برای بررسی عملکرد دستگاه، لازم بود ابتدا ضریب تصحیح رطوبت^۱ (MCF) محاسبه شود. این ضریب از تقسیم جرم دانه‌های اصلی^۲ (جرم دانه‌های جمع‌آوری شده بلافاصله پس از عملیات پوست‌گیری) بر جرم دانه‌های موجود (جرم دانه‌های پوست‌گیری شده در زمان تقسیم‌بندی آن‌ها به گروه‌های مورد نظر) به دست آمد (معادله (۱)). لازم به توضیح است که اگر تقسیم‌بندی دانه‌ها بلافاصله پس از انجام عملیات پوست‌گیری انجام شود، این دو جرم یکسان خواهند بود و ضریب تصحیح رطوبت برابر با ۱ است.

$$MCF = \frac{M_O}{M_C} \quad (۲)$$

که، M_O جرم دانه‌های اصلی (گرم) و M_C جرم دانه‌های موجود (گرم) یاست.

درصد دانه پوست‌گیری شده (%GP)، یکی از مهم‌ترین شاخص‌های پوست‌گیری است و نشان دهنده مقدار دانه بدون پوسته به دست آمده پس از پوست‌گیری است. همچنین اطلاعاتی راجع به ارزش اقتصادی نمونه‌های یولاف پوست‌گیری شده ارائه می‌دهد. به همین دلیل، مقدار بالای این ویژگی مطلوب است. مقدار این شاخص با استفاده از معادله (۲) محاسبه شد.

$$\%GP = \left[\frac{[(G + B) \times MCF]}{WO - (R \times MCF)} \right] \times 100 \quad (۳)$$

که، WO جرم یولاف کل (با پوسته) است.

بازده پوست‌گیری (DHE) که درصد دانه‌های پوست‌گیری شده با یک بار پوست‌گیری را نشان می‌دهد و شاخص اصلی برای مقبولیت اقتصادی فرآیند پوست‌گیری است، از طریق معادله (۳) محاسبه شد.

$$DHE = \left[\frac{WO - (R \times MCF)}{WO} \right] \times 100 \quad (۴)$$

درصد دانه‌های شکسته (%B) با استفاده از معادله (۴) محاسبه شد.

$$\%B = \left[\frac{B}{G + B} \right] \times 100 \quad (۵)$$

1- Moisture correction factor

2- Original sample mass

3- Current sample mass

4- Whole oat mass

متقابل آن‌ها، در سطح احتمال ۱ درصد، بر تمام عوامل پوست گیری تأثیر معنی داری دارد.

جدول ۱- ویژگی‌های فیزیکی دانه یولاف رقم هاشمی

ویژگی فیزیکی	مقدار
طول (میلی متر)	۹/۴۴±۰/۷۵
عرض (میلی متر)	۲/۰۴±۰/۲۵
ضخامت (میلی متر)	۲/۶±۰/۲۵
قطر میانگین حسابی (میلی متر)	۴/۶۸±۰/۴۲
قطر میانگین هندسی (میلی متر)	۳/۶۶±۰/۳۷
ضریب کروی (درصد)	۰/۶۴±۰/۰۱
چگالی ظاهری (گرم بر سانتی مترمکعب)	۱/۱۸
چگالی حقیقی (گرم بر سانتی مترمکعب)	۰/۴۲
وزن هزار دانه (گرم)	۳۳/۶۵±۰/۶۶
رطوبت بر پایه تر (درصد)	۵/۶۳±۰/۱۸
زاویه پایداری تخلیه شدگی (درجه)	۱۱/۰۷

شکل ۴ تغییرات %GP با سرعت دورانی روتور را در سطوح مختلف محتوای رطوبتی نشان می‌دهد. به طور کلی %GP با مقدار دانه‌های مقاوم به پوست گیری (R)

جدول ۲- تجزیه واریانس شاخص‌های عملکرد پوست گیر ضربه‌ای یولاف رقم هاشمی تحت تأثیر سرعت دورانی روتور و محتوای رطوبتی دانه‌ها

منبع تغییر	درجه آزادی	%GP	DHE	%B	%GY	%MY
سرعت دورانی روتور (N)	۴	۹۰/۷۳**	۳۶۰۲/۰۹**	۹۸۸/۹۱**	۳۲۱/۰۶**	۱۴۴۴/۶۰**
رطوبت دانه‌های یولاف (M)	۲	۱۷۸/۳۸**	۲۰۲۶/۵۴**	۳۸۰۱/۳۲**	۷۳/۰۵**	۹۴۲/۶۹**
(M×N)	۸	۴۳/۵۳**	۱۶۴/۷۶**	۱۳۹/۲۶**	۲۹۲/۴۰**	۱۱۶/۸۱**
خطا	۳۰	۱۱/۸۹**	۳/۵۶**	۶/۶۰**	۴/۸۷**	۶/۷۶**

** وجود اختلاف معنی دار در سطح احتمال ۱ درصد

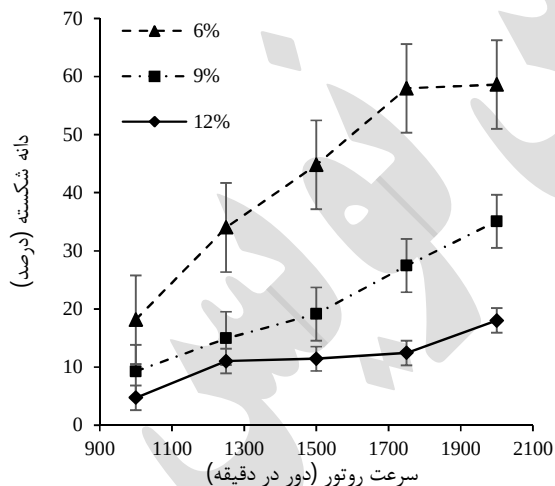
شکل ۵ تغییرات بازده پوست گیری (DHE) با سرعت دورانی روتور را در مقادیر متفاوت محتوای رطوبتی نشان می‌دهد. به طور کلی هر چه مقدار دانه‌های مقاوم به پوست گیری (R) کمتر بود، مقدار DHE بیش‌تری حاصل شد. مشاهده می‌شود که مقدار DHE در هر ۳ سطح رطوبت با افزایش سرعت دورانی روتور، افزایش یافت. زیرا افزایش سرعت دورانی روتور سبب شد مقادیر G و B افزایش و در نتیجه مقدار R کاهش یافت.

همچنین در سرعت‌های دورانی روتور یکسان، با افزایش رطوبت، مقدار DHE کاهش پیدا کرد. زیرا با افزایش رطوبت دانه‌ها، مقادیر G و B کاهش و در نتیجه مقدار R افزایش یافت. بیش‌ترین مقدار DHE در سرعت دورانی

بنابراین، پوست گیری دانه‌ها در رطوبت‌های ۶ و ۱۲ درصد بر پایه تر نسبت به رطوبت ۹ درصد بر پایه تر آسان‌تر بود. به بیان دیگر، در این دو سطح رطوبتی، مقدار R کاهش و مقادیر B و G افزایش یافته و %GP بالاتری نسبت به رطوبت ۹ درصد بر پایه تر حاصل شد. مشاهده می‌شود که بیش‌ترین %GP در رطوبت ۱۲ درصد بر پایه تر و سرعت دورانی روتور ۱۲۵۰ دور در دقیقه و کم‌ترین مقدار آن در رطوبت ۹ درصد بر پایه تر و سرعت دورانی روتور ۱۰۰۰ دور در دقیقه به دست آمد. این نتایج با یافته‌های پژوهش‌های پیشین همخوانی دارد. (Doehlert & McMullen, 2001).

محصول را کاهش می‌دهد، برای به حداکثر رساندن مقدار G ، عملیات باید در سرعتی انجام شود که کمترین $B\%$ حاصل شود. به طور کلی، با افزایش سرعت دورانی روتور و در نتیجه افزایش تنش مکانیکی وارد بر دانه‌های یولاف، $B\%$ افزایش یافت.

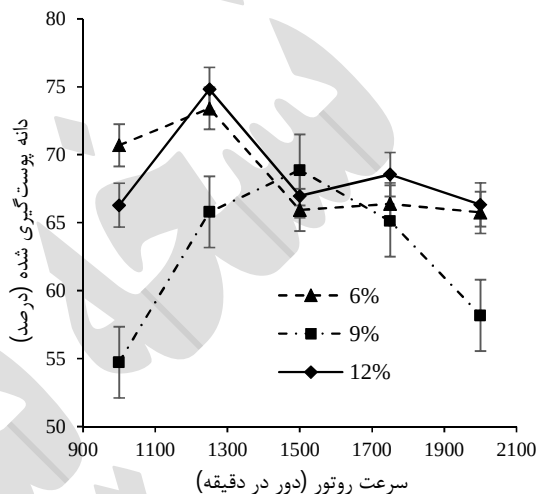
همچنین در سرعت‌های دورانی روتور یکسان، با افزایش رطوبت دانه‌ها مقدار $B\%$ کم‌تری به دست آمد. از آنجا که رطوبت کم می‌تواند یولاف‌ها را شکننده کند، بیش‌ترین شکست دانه در سرعت دورانی ۲۰۰۰ دور در دقیقه و رطوبت ۶ درصد بر پایه تر و کم‌ترین شکست دانه در سرعت دورانی ۱۰۰۰ دور در دقیقه و رطوبت ۱۲ درصد بر پایه تر اتفاق افتاد. بنابراین، هر چه سرعت دورانی روتور بیش‌تر و رطوبت دانه‌ها کم‌تر بود، $B\%$ بیش‌تری به دست آمد و هر چه سرعت دورانی روتور کم‌تر و رطوبت دانه‌ها بیش‌تر بود، $B\%$ کاهش یافت. همچنین مشاهده شد دانه‌هایی که در برابر پوست‌گیری مقاوم‌تر بودند، در برابر شکست هم مقاومت بیش‌تری داشتند. نتایج حاصل با نتایج دیگر پژوهش‌گران مطابقت دارد (Doehlert & McMullen, 2001; Doehlert & Wiessenborn, 2007).



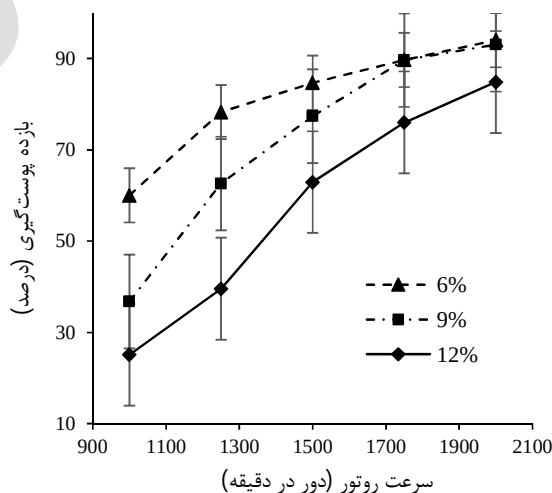
شکل ۶- تغییرات درصد دانه شکسته رقم هاشمی با سرعت دورانی روتور در سطوح محتوای رطوبتی متفاوت

شکل ۷ تغییرات عملکرد دانه‌های شکسته نشده ($GY\%$) با سرعت دورانی روتور را در سه سطح محتوای رطوبتی نشان می‌دهد. همان‌طور که بیان شد، مقدار $GY\%$ ، بیانگر تعادل بین DHE و $B\%$ است. از آنجا که، DHE و $B\%$ با افزایش سرعت دورانی روتور افزایش یافتند هرچه DHE بیش‌تر شد، مقدار $GY\%$ بهبود یافته و با افزایش $B\%$

روتور ۲۰۰۰ دور در دقیقه و رطوبت ۶ درصد بر پایه تر و کم‌ترین مقدار آن در سرعت دورانی روتور ۱۰۰۰ دور در دقیقه و رطوبت ۱۲ درصد بر پایه تر، به دست آمد. در سرعت دورانی روتور ۲۰۰۰ دور در دقیقه، مقدار DHE برای هر سه سطح رطوبت بیش از ۸۰ درصد بود. این نتایج با یافته‌های دیگر پژوهش‌گران هم‌خوانی دارد (Doehlert & McMullen, 2001; Doehlert & Wiessenborn, 2007).



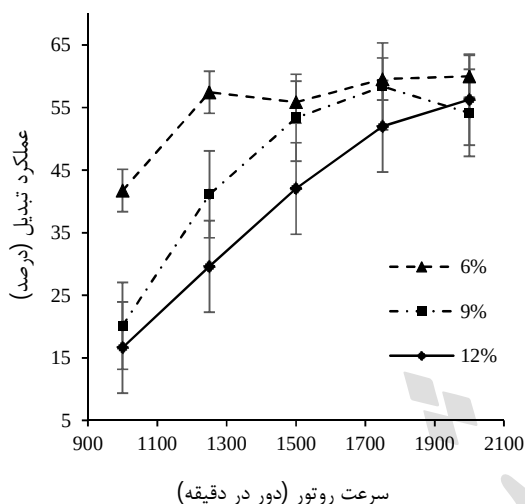
شکل ۴- تغییرات درصد دانه پوست‌گیری شده رقم هاشمی با سرعت دورانی روتور در سطوح محتوای رطوبتی متفاوت



شکل ۵- تغییرات درصد بازده پوست‌گیری رقم هاشمی با سرعت دورانی روتور در سطوح محتوای رطوبتی متفاوت

شکل ۶ روند تغییرات درصد دانه شکسته ($B\%$) با سرعت دورانی روتور را در سطوح مختلف محتوای رطوبتی نشان می‌دهد. از آنجا که مقدار بالای $B\%$ ارزش نهایی

در سرعت‌های دورانی پایین روتور، DHE بسیار پایینی داشتند. با افزایش رطوبت نیز مقادیر G و B کاهش پیدا کرد و در نتیجه $MY\%$ کاهش یافت. بیش‌ترین $MY\%$ در سرعت دورانی روتور ۲۰۰۰ دور در دقیقه و رطوبت ۶ درصد بر پایه تر و کم‌ترین مقدار آن در سرعت دورانی روتور ۱۰۰۰ دور در دقیقه و رطوبت ۱۲ درصد بر پایه تر به دست آمد. این نتایج با یافته‌های پژوهش‌های پیشین هم‌خوانی دارد (Doehlert et al., 2009).

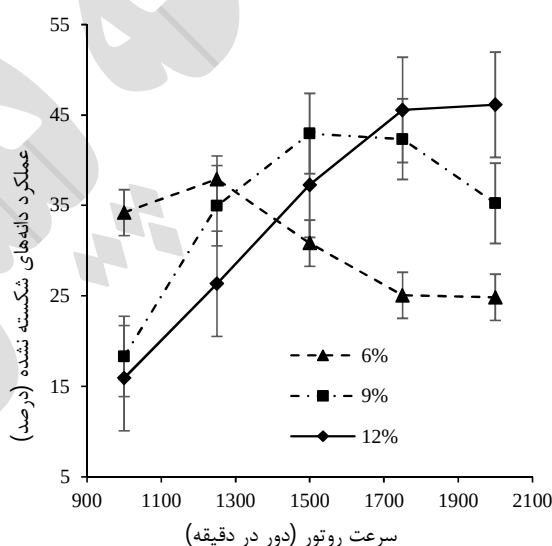


شکل ۸- تغییرات درصد عملکرد تبدیل رقم هاشمی با سرعت دورانی محور در سطوح محتوای رطوبتی متفاوت

نتیجه‌گیری

بیش‌ترین مقدار درصد دانه پوست‌گیری شده ($GP\%$) در رطوبت ۱۲ درصد بر پایه تر و سرعت دورانی روتور ۱۲۵۰ دور در دقیقه و کم‌ترین مقدار آن در رطوبت ۹ درصد بر پایه تر و سرعت دورانی روتور ۱۰۰۰ دور در دقیقه به دست آمد. بیش‌ترین مقدار $GP\%$ در سرعت دورانی روتور ۱۲۵۰ دور در دقیقه و کم‌ترین مقدار آن در سرعت‌های دورانی روتور ۱۰۰۰ و ۲۰۰۰ دور در دقیقه به دست آمد. مقدار بازده پوست‌گیری (DHE)، در هر ۳ سطح رطوبت با افزایش سرعت دورانی روتور، افزایش یافت و برای هر سه سطح رطوبت، بیش‌ترین و کم‌ترین مقدار آن به ترتیب در سرعت‌های دورانی روتور ۱۰۰۰ و ۲۰۰۰ دور در دقیقه به دست آمد. همچنین در سرعت‌های دورانی روتور یکسان، با افزایش رطوبت، مقدار DHE کاهش یافت. $B\%$ در هر سه سطح رطوبت دانه، با افزایش سرعت دورانی روتور افزایش و با افزایش رطوبت دانه، روند کاهشی نشان

روند کاهشی را نشان داد. سرعت دورانی که بیش‌ترین $GY\%$ را داشت، به عنوان بهترین سرعت دورانی روتور در نظر گرفته شد. در رطوبت ۱۲ درصد بر پایه تر، $GY\%$ با افزایش سرعت دورانی روتور، افزایش یافت، زیرا افزایش رطوبت باعث کاهش $B\%$ شد. در سطوح مختلف رطوبت دانه، بهترین سرعت دورانی روتور متفاوت بود. مشاهده شد که هر چه رطوبت دانه‌ها کاهش یافت، بهترین سرعت دورانی روتور در سرعت‌های کم‌تری اتفاق افتاد. در رطوبت‌های ۶ درصد، ۹ درصد و ۱۲ درصد بر پایه تر، بهترین سرعت دورانی روتور به ترتیب ۱۲۵۰، ۱۵۰۰ و ۲۰۰۰ دور در دقیقه بود. بیش‌ترین و کم‌ترین مقدار $GY\%$ به ترتیب در سرعت‌های دورانی روتور ۲۰۰۰ و ۱۰۰۰ دور در دقیقه و رطوبت ۱۲ درصد بر پایه تر به دست آمد. این نتایج با یافته‌های پژوهش‌های پیشین هم‌خوانی دارد (Doehlert et al., 2009).



شکل ۷- تغییرات درصد عملکرد دانه‌های شکسته نشده رقم هاشمی با سرعت دورانی محور در سطوح محتوای رطوبتی متفاوت

شکل ۸ تغییرات عملکرد تبدیل ($MY\%$) با سرعت دورانی روتور را در رطوبت‌های متفاوت نشان می‌دهد. مطابق معادله (۷)، هر چه مقادیر $GP\%$ و DHE افزایش یافتند، مقدار $MY\%$ نیز افزایش یافت.

همان‌طور که مشاهده می‌شود، با افزایش سرعت دورانی روتور و افزایش مقادیر G و B ، شاخص $MY\%$ روند صعودی را نشان داد. به علاوه، مشاهده شد نمونه‌هایی که $MY\%$ آن‌ها با افزایش سرعت دورانی روتور افزایش یافت،

- Gates, F. (2007). Role of heat treatment in the processing and quality of oat flakes. University of Helsinki. Academic Dissertation.
- Kara, M., Sayinci, B., Elkoca, E., Oztürk, I. & Ozmen, T. B. 2013. Seed size and shape analysis of registered common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) cultivars in Turkey using digital photography. *Journal of Agricultural Sciences*, 19: 219-234.
- Malik, M. A. & Saini, C. S. 2016. Engineering properties of sunflower seed: Effect of dehulling and moisture content. *Cogent Food & Agriculture* 2: 1145783.
- Merikhi, K. (2015). Design, manufacture and evaluation of oat dehuller machine. Agriculture department. Razi University, Iran. (In Persian)
- Peltonen-Sainio, P., Kontturi, M., & Rajala, A. (2004). Impact dehulling oat grain to improve quality of on-farm produced feed: 1. Hullability and associated changes in nutritive value and energy content. *Agricultural and Food Science*, 13(1-2): 18-28.
- Smulders, M. J., van de Wiel, C. C., van den Broeck, H. C., van der Meer, I. M., Israel-Hoevelaken, T. P. M., Timmer, R. D., van Dinter, B. J., Braun, S. & Gilissen, L. J. (2018). Oats in healthy gluten-free and regular diets: A perspective. *Food Research International*, 110: 3-10.
- Sontag-Strohm, T., Lehtinen, P., & Kaukovirta-Norja, A. (2008). Oat products and their current status in the celiac diet. In *Gluten-free cereal products and beverages* (pp. 191-202). Academic Press.
- Sterna, V., Zute, S., & Brunava, L. (2016). Oat grain composition and its nutrition benefice. *Agriculture and Agricultural Science Procedia*, 8: 252-256.
- Tapsas, D., Fälth-Magnusson, K., Högborg, L., Hammersjö, J. Å., & Hollén, E. (2014). Swedish children with celiac disease comply well with a gluten-free diet, and most include oats without reporting any adverse effects: a long-term follow-up study. *Nutrition Research*, 34(5): 436-441.
- داد. مشاهده شد دانه‌هایی که در برابر پوست‌گیری مقاوم‌تر بودند، در برابر شکست هم مقاومت بیشتری از خود نشان دادند. با افزایش *DHE*، عملکرد دانه‌های شکسته نشده (*%GY*) افزایش و با افزایش *B*، مقدار آن کاهش یافت. سرعت دورانی روتوری که بیش‌ترین *%GY* را داشت، به عنوان بهترین سرعت دورانی روتور در نظر گرفته شد. عملکرد تبدیل (*%MY*)، با دانه‌های کامل (*G*) و دانه‌های شکسته شده (*B*) و در نتیجه با *%GP* و *DHE* رابطه مستقیم داشت. *%MY*، با افزایش سرعت دورانی روتور، روند صعودی را نشان داد. با توجه به نتایج به دست آمده بهترین سرعت دورانی روتور و محتوای رطوبتی برای پوست‌گیری دانه‌های یولاف رقم هاشمی به ترتیب ۱۷۵۰ دور در دقیقه و ۱۲ درصد بر پایه تر هستند. در این سرعت دورانی مقادیر *%GP* برابر با ۶۸/۵۵، *DHE* برابر با ۷۵/۹۸، *B* برابر با ۱۲/۴۵ و *%MY* برابر با ۷۵/۰۱ بودند.

منابع

- Benjamin, Y. L. & Lazaro, E. 2019. Design, fabrication and performance evaluation of centrifugal sunflower dehuller for small-scale enterprises in developing countries. *African Journal of Science, Technology, Innovation and Development*, 11: 731-738.
- Brar, H. S., Sidhu, G. K., & Singh, A. (2016). Effect of moisture content on engineering properties of oats (*Avena sativa* L.). *Agricultural Engineering International: CIGR Journal*, 18(3): 186-193.
- Cohen, I. S., Day, A. S., & Shaoul, R. (2019). To be oats or not to be? An update on the ongoing debate on oats for patients with celiac disease. *Frontiers in Pediatrics*, 7.
- Doehlert, D. C., & McMullen, M. S. (2001). Optimizing conditions for experimental oat dehulling. *Cereal Chemistry*, 78(6): 675-679.
- Doehlert, D. C., & Wiessenborn, D. P. (2007). Influence of physical grain characteristics on optimal rotor speed during impact dehulling of oats. *Cereal Chemistry*, 84(3): 294-300.
- Doehlert, D. C., Wiesenborn, D. P., McMullen, M. S., Ohm, J. B., & Riveland, N. R. (2009). Effects of impact dehuller rotor speed on dehulling characteristics of diverse oat genotypes grown in different environments. *Cereal Chemistry*, 86(6): 653-660.
- Farhadian, F. (2015). An overview of Oat, Triticale, and Rye's chemical composition and nutritional characteristics. Department of Food Science and Industry. Islamic Azad University, Birjand, Iran. (In Persian)

Research paper

Dehulling speed and grain moisture impact on performance indices of oat dehulling process

S. Arab¹, M. Sadeghi^{2*} and M. Jafari³

Abstract

Oat is one of the grains used in the world, and consuming the right amounts of it could be considered a part of a gluten-free diet for people suffering from celiac disease. However, this grain has a hull that is not digested by the human digestive system and hence needs to be dehulled. A laboratory impact oat dehuller was designed, fabricated, and evaluated in this research. The dehulling experiments of the Hashemi oat variety were performed at five levels of rotor speed (1000, 1250, 1500, 1750, and 2000 rpm) and three levels of moisture content (6, 9, and 12% w.b.) with three replications. The effect of these variables on groat percentage (*GP*), dehulling efficiency (*DHE*), broken groats (*%B*), unbroken groat yield (*%GY*), and mill yield (*%MY*) was studied. The results revealed that with the increase in the rotational speed of the rotor at all grain moistures, the *%GY* first increased and then decreased. The *DHE* indicated an ascending trend with increasing rotor speed and grain moisture. The *%B* increased with an increase in the rotational speed and decreased with an increase in the grain moisture. The grains more resistant to dehulling also showed more resistance to breakage. At each grain moisture content, the rotational speed leading to the highest *%GY* was considered the best rotor speed. The *%MY* had a direct relationship with *%GP* and *DHE*, and it showed an ascending trend with increasing the rotor speed and a descending trend with increasing grain moisture. The best rotor speed and moisture content for dehulling the oat grains were determined to be 1750 rpm and 12% w.b., respectively.

Keywords: Oats, Impact huller, Celiac disease, Dehulling efficiency, Broken groats, Mill yield.

Citation: Arab S. Sadeghi M. and Jafari M. 2023. Dehulling speed and grain moisture impact on performance indices of oat dehulling process. Journal of Researches in Mechanics of Agricultural Machinery. 29: ??-??. <https://dx.doi.org/10.22034/JRMAM.2023.14272.653>

1- M.Sc. Student, Department of Biosystems Engineering, College of Agriculture, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.

2- Associate Professor, Department of Biosystems Engineering, College of Agriculture, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.

3- Assistant Professor, Department of Biosystems Engineering, College of Agriculture, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.

* Corresponding Author: sadeghimor@iut.ac.ir

Received: 2023/02/17

Accepted: 2023/05/20

<https://dx.doi.org/10.22034/JRMAM.2023.14272.653>