

مقاله پژوهشی

تعیین مدول چگالی جرمی، ضریب مقاومت در برابر له شدن و ضریب کار مفید برش برای دانه باقلا (*Vicia faba L.*) آماده به طبخ

رشید غلامی^{۱*}، حکمت ربانی^۲ و نگین سهرابی^۳

چکیده

تهیه و تدارک محصولات غذایی آماده و نیمه آماده برای مصرف‌کنندگان به دلیل بیتغییر سبک زندگی در دنیای امروز حائز اهمیت است. به همین منظور و به جهت ایجاد چنین بستری، در ابتدا اطلاع از خصوصیات محصولات کشاورزی لازم و ضروری است. دانستن اطلاعاتی راجع به خواص و رفتار مکانیکی محصولات کشاورزی به منظور طراحی تجهیزات مکانیزه و خودکار کشاورزی مرتبط با مراحل برداشت و همچنین تجهیزات فرآیند پس از برداشت ضروری است. خواصی که در برش مواد سلولی مؤثرند عبارتند از: فشردگی، کشش، خمش و برش. این خصوصیات به گونه، وارپته، مقدار رسیدگی، محتوای رطوبتی و ساختار سلولی وابسته هستند. در این تحقیق با استفاده از تئوری برش و روابط موجود در این زمینه، مدول چگالی جرمی، ضریب مقاومت در برابر له شدن و ضریب کار مفید برای دانه باقلا به منظور خرد کردن آن به دست آمده است. از طرح کامل تصادفی با آزمایش عاملی برای بررسی اثر زاویه برش و سرعت برش بر روی این صفات استفاده شد. نتایج نشان دادند که تأثیر زاویه برش بر مقادیر مدول چگالی جرمی و ضریب مقاومت در برابر له شدن در سطح ۱٪ معنی‌دار بوده و با افزایش زاویه برش ضریب مقاومت در برابر له شدن کاهش و ضریب کار مفید افزایش می‌یابد. همچنین مشخص شد که افزایش سرعت سبب کاهش مقاومت در برابر له شدن و افزایش ضریب کار مفید گردیده است؛ در حالی که تغییرات مدول چگالی جرمی از روند منظمی پیروی نکرده بود.

واژه‌های کلیدی: باقلا، خواص مکانیکی، چگالی جرمی، مقاومت در برابر له شدن، ضریب کار مفید.

ارجاع: غلامی، ر.، ربانی، ح. و سهرابی، ن. ۱۴۰۲. تعیین مدول چگالی جرمی، ضریب مقاومت در برابر له شدن و ضریب کار مفید برش برای دانه باقلا (*Vicia faba L.*) آماده به طبخ. نشریه پژوهش‌های مکانیک ماشین‌های کشاورزی. ۲۸: ۸۵-۹۲. <https://dx.doi.org/10.22034/jrmam.2023.14205.647>

۱- استادیار گروه مهندسی ماشین‌های کشاورزی، دانشکده کشاورزی سنقر، دانشگاه رازی، کرمانشاه.

۲- دانشیار گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه رازی، کرمانشاه.

۳- دکتری، گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز.

* نویسنده مسئول: r.gholami@razi.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۰/۱۵ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۱/۱۷

مقدمه

باقلا گیاهی یکساله، از تیره نخود (*Fabaceae*) با نام علمی *Vicia faba L.* و از خانواده بقولات (*Leguminosae*) است، که به لحاظ بالا بودن پروتئین و ارزش تغذیه‌ای دانه‌های آن یقابلیت بالایی برای مصرف انسانی دارد، به نحوی که به طور متوسط ۳۰ تا ۳۵ درصد زمین‌های زراعی برخی نقاط جهان کشت می‌شود (Zare et al., 2003; Sharan et al., 2022). سطح زیرکشت باقلا در ایران حدود ۷۹۱۸ هکتار و میزان تولید ۱۷۴۸۶ تن در سال ۲۰۲۰ بوده است (FAO, 2020) که عمده‌ترین مناطق تولید آن استان‌های گلستان، خوزستان، مازندران و گیلان هستند. کشت این محصول در مناطقی مانند شهرستان سرپل ذهاب در استان کرمانشاه که دارای زمستان معتدل هستند مناسب است. گل، شاخه گل‌دار، دانه و تخم باقلا مصارف طبی دارند و به صورت خام، پخته و کنسرو شده استفاده می‌شوند. علاوه بر این، ارزش بالای پروتئین باقلا به علت تعادل اسیدهای آمینه ضروری خصوصاً تریپتوفان و ایزولوسین در آن‌ها است. باقلا دارای ماده‌ای به نام فیلیتین است که بسیار مغذی و تقویت کننده بدن است. با وجود محتوای فراوان پروتئین عوامل ضد تغذیه‌ای که عبارتند از مهار کننده‌های پروتئاز، مهارکننده آلفا آمیلاز، فنل‌ها، لکتین، تانن، اسید فتیک، آلکالوئیدها نیز در دانه‌های این گیاه یافت می‌شود، این عوامل در میزان هضم و جذب پروتئین‌ها مشکل‌ساز بوده و باعث کاهش ارزش تغذیه‌ای پروتئین این گیاه می‌گردند. مصرف باقلای خام به علت دارا بودن این عوامل ضد تغذیه‌ای توصیه نمی‌شود (Baghaei & Habibi, 2005).

با توجه به اهمیت مکانیزه شدن بخش کشاورزی و توسعه روز افزون تجهیزات مرتبط با مراحل کاشت، داشت، برداشت و پس از برداشت، دانستن اطلاعاتی راجع به خصوصیات فیزیکی و مکانیکی گیاهان به منظور طراحی تجهیزات مکانیزه و خودکار کشاورزی ضروری است. آگاهی از خواص و رفتار مکانیکی بقولات یکی از عامل‌های مهم در طراحی دستگاه‌های برداشت و فرآوری پس از برداشت این محصولات است. خواصی که در برش مواد گیاهی مطرح‌اند عبارتند از: فشردگی، کشش، خمش، برش، چگالی و اصطکاک. این خصوصیات به گونه، وارسته، قطر ساقه، مقدار رسیدگی، محتوای رطوبتی و ساختار سلولی وابسته‌اند. در سال‌های گذشته تحقیقات گسترده‌ای در

راستای بررسی خصوصیات فیزیکی و مکانیکی محصولات کشاورزی به منظور ساخت و بهینه‌سازی تجهیزات کشاورزی صورت پذیرفته است. در تحقیقی، خصوصیات مکانیکی برش برگ سیزال^۱ تحت برش ضربه‌ای مورد بررسی قرار گرفته است. در این تحقیق ویژگی‌های برش به منظور کاهش نیرو و انرژی برش بررسی شده‌اند. نتایج نشان دهنده تأثیر معنی‌دار ویژگی‌های برش از جمله سرعت برش بر نیرو و انرژی برش بوده است (Song et al., 2022). همچنین در پژوهشی تأثیر عوامل فیزیکی و مکانیکی مرکبات بر خصوصیات برش از جمله نیروی بیشینه مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج نشان دهنده تأثیر معنی‌دار قطر ساقه، رطوبت و سرعت برش بر مقدار نیروی برش بوده است (Wang, 2020). در تحقیقی خصوصیات برش گل محمدی از جمله مقاومت در برابر له شدن و ضریب برش مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفته است. نتایج نشان داد که زاویه برش و سرعت برش تأثیر معنی‌داری بر شاخص‌های برشی محصول داشته است (Rabbani et al., 2015). در تحقیقی، بهینه‌سازی قدرت برش و نیروی برش به منظور خرد کردن بقایای کشاورزی مورد بررسی قرار گرفته است که نتایج حاکی از آن بود که در بعضی موارد نیروی برش و انرژی مصرفی برای برش ممکن است بر خلاف هم عمل کرده و با افزایش یکی، دیگری کاهش یابد (Vu et al., 2020). در تحقیقی به مطالعه خواص فیزیکی دانه باقلا رقم ایران پرداخته و مدلی برای جرم باقلا بر اساس ویژگی‌های فیزیکی آن ارائه شده است. مشخص گردید که بهترین مدل برای پیش‌بینی جرم باقلا یک مدل خطی بر اساس بعد عرضی باقلا است (Lorestani & Ghari, 2012). همچنین در تحقیق دیگری به مطالعه خواص فیزیکی از جمله ابعاد، جرم و حجم، میزان کرویت و ... خواص مکانیکی از جمله مدول الاستیسیته، نیروی گسیختگی و انرژی لازم برای گسیختگی دانه باقلا تحت بارگذاری شبه‌استاتیکی پرداخته شد. طبق نتایج، جرم متوسط، حجم متوسط و ضریب کرویت برای دانه باقلا به ترتیب ۴/۱۲ گرم، ۳/۳۰ سانتی‌مترمکعب و ۶۵/۴۸٪ بود. همچنین با افزایش نرخ بارگذاری مدول الاستیسیته، نیروی گسیختگی و انرژی لازم برای گسیختگی دانه باقلا افزایش می‌یافت (Jalilantabar et al., 2012). در تحقیق دیگری تأثیر

گروه مکانیک بیوسیستم دانشگاه رازی منتقل شد. تعداد ۵۴ نمونه مربوط به آزمایش با استفاده از ترازوی دیجیتالی با دقت ۰/۰۱ گرم وزن و در آون با دمای ۱۰۵ درجه سلسیوس به مدت ۲۴ ساعت قرار داده شدند (Suthar & Das, 1996). سپس نمونه‌ها وزن شده و محتوای رطوبتی آن‌ها بر پایه وزن تر به دست آمد. نمونه‌های مربوط به آزمایش برش با دقت و به منظور جلوگیری از آسیب فیزیکی به صورت دستی پوست‌گیری شدند. برای هر آزمایش برش ۶ تکرار انجام شد. اندازه‌گیری‌ها با استفاده از دستگاه آزمون کشش-فشار^۲ انجام گردید که دقت اندازه‌گیری آن ۰/۰۰۱ نیوتن بود. سرعت حرکت فک متحرک دستگاه قبل از شروع بارگذاری ۲۰۰ میلی‌متر بر دقیقه و برای اعمال نیروی برشی سه سرعت ۱۵۰، ۲۵۰ و ۳۵۰ میلی‌متر بر دقیقه به منظور بارگذاری نمونه‌ها مورد استفاده قرار گرفت. برای برش از تیغه تیزبر با زاویه تیزی ۱/۷ درجه و سه زاویه برش مختلف صفر، ۳۰ و ۴۵ درجه استفاده گردید (شکل ۱).



شکل ۱- نحوه قرار گیری تیغه برش در زاویه ۴۵ درجه

نمودار مربوط به نیرو - جابه جایی در نرم‌افزار مخصوص دستگاه (testXpert II) ترسیم گردید. شکل ۲، یک نمونه از نمودار نیرو- جابه جایی برای نشان دادن تغییرات مقدار فشار استاتیکی گیاه به ضخامت h است. محور افقی نشان دهنده مسیر عبور تیغه از میان ضخامت h است. h' مسیر تیغه در له کردن اولیه گیاه بوده و سطوح A' و A مقدار کار انجام شده در له کردن و بریدن گیاه هستند.

محتوای رطوبت بر خواص فیزیکی و مکانیکی باقلا تحت بارگذاری فشاری مورد بررسی قرار گرفته است. خواص مکانیکی از جمله نیرو و انرژی شکست و همچنین شاخص تغییر شکل بررسی شده است. نتایج نشان دهنده آن بود که با افزایش رطوبت دانه باقلا، شاخص تغییر شکل و انرژی شکست افزایش در حالی که نیروی شکست کاهش یافته است (Altuntas & Yildiz, 2007).

به دلیل شرایط دنیای امروز و مشغله زیاد انسان‌ها در تدارک، تهیه و طبخ خوراک روزانه، محصولات آماده و نیمه آماده مورد توجه و استقبال قرار دارند. در این میان محصولات آماده به طبخ^۱ (RTC) به سبب تازگی و عدم انجام فرآیند شیمیایی بر روی آن‌ها و همچنین صرف زمان اندک به منظور مهیا شدن برای خوراک از جایگاه ویژه‌ای برخوردار هستند (Singh et al., 2019). به همین دلیل در اختیار قرار دادن محصولات کشاورزی به صورت آماده و نیمه آماده یبه مصرف کنندگان قطعاً حائز اهمیت است. در همین راستا آماده‌سازی باقلای پوست‌گیری شده و خرد شده و ارائه آن به مشتریان می‌تواند در اقبال این محصول تأثیر گذار باشد. اطلاع از رفتار مکانیکی محصولات در طی برش برای طراحی تیغه مناسب و همچنین تعیین ویژگی‌های عملیاتی ضروری است. از جمله عوامل عملیاتی مؤثر در رفتار مکانیکی مواد بیولوژیک در برش، سرعت و زاویه برش هستند. در جستجوی گسترده‌ای که صورت پذیرفت، آماده سازی باقلا برای ارائه به صورت یک محصول آماده به طبخ (پوست‌گیری و خرد شده) و همچنین اندازه‌گیری مشخصه‌های مکانیکی برشی باقلا تحت شرایط موجود (برش نمونه باقلا پوست‌گیری شده در سرعت و زوایای برشی ارائه شده) در این پژوهش، تا کنون مورد بررسی و ارزیابی قرار نگرفته است. از این رو در این تحقیق به بررسی تأثیر سرعت برش و زاویه برش بر مقدار مدول چگالی جرمی، ضریب مقاومت در برابر له شدن و ضریب کار برش مفید در دانه باقلا پرداخته شده است.

مواد و روش‌ها

در این تحقیق محصول باقلا با دقت و در نظر گرفتن سلامت ظاهری از بازار کرمانشاه تهیه گردید و سپس به آزمایشگاه خواص فیزیکی و مکانیکی محصولات کشاورزی

شکست را مشخص می‌کند، ولی از آنجا که در محصولات کشاورزی محصولی که کاملاً شکننده باشد وجود ندارد، با این ضریب استخراج شده، که با داشتن آن و مقدار کار لازم برای لهیدگی می‌توان مقدار لهیدگی محصول را مشخص نمود (Rabbani et al., 2015).

با دقت در نمودار شکل ۱ مشاهده می‌شود که ضریب مقاومت در مقابل له شدن، شیب قسمت خطی نمودار بوده و در مقایسه با فلزات این ضریب بسیار شبیه به مدول الاستیسته فلزات در نمودار تنش - کرنش است. با داشتن این ضریب می‌توان مقاومت محصول در برابر له شدن را به دست آورد. بزرگ بودن مقدار این ضریب یا به علت کاهش مقدار لهیدگی است که با داشتن مدول چگالی جرمی می‌توان در مورد مقدار آن نظر داد یا به علت زیاد بودن نیروی لازم برای لهیدگی است که نشان دهنده این مهم است که ساقه محصول مقاومت زیادی در برابر له شدن دارد. از طرف دیگر ضریب کار مفید (η_c) مطابق با معادله زیر است:

$$\eta_c = \frac{A}{A + A'} \quad (5)$$

کار برش را می‌توان تقریباً برابر با مساحت مستطیل BCDE دانست:

$$A = P(h - h') \quad (6)$$

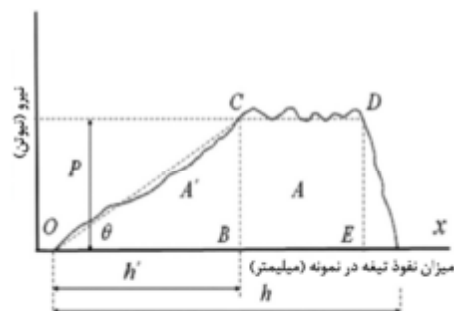
در نهایت داریم:

$$\eta_c = \frac{P(h - h')}{P(h - h') + \frac{Ph'}{2}} \quad (7)$$

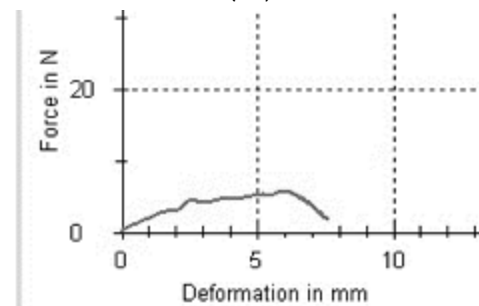
از معادله (۷) می‌توان استنباط نمود که با افزایش ضخامت لایه h' مقدار η_c کاهش می‌یابد. ضریب کار برش مفید مقداری بین صفر تا ۱ را خواهد داشت و هرچه به ۱ نزدیک‌تر باشد نشان دهنده بالا بودن بازده عملیات برش است. در این تحقیق مدول چگالی جرمی، ضریب مقاومت در برابر له شدن و ضریب کار مفید برای دانه باقلا به دست آورده شده است. برای تحلیل داده‌ها از آزمایش فاکتوریل در طرح کامل تصادفی با دو عامل زاویه برش و سرعت برش استفاده شده است. نتایج با استفاده از نرم‌افزار SPSS 19 تحلیل و بررسی شدند. مقایسه میانگین‌ها نیز به روش دانکن انجام گرفت.

نتایج و بحث

متوسط درصد رطوبت نمونه‌های مورد استفاده بر پایه تر برابر با ۸۲/۵٪ بود. نتایج بررسی مقادیر میانگین (شکل ۳)



(الف)



(ب)

شکل ۲- (الف) شماتیک نمودار نیرو-جاب‌جایی، (ب) نمودار نیرو-جاب‌جایی مستخرج از نرم افزار دستگاه

برای بررسی کار مورد نیاز برای له کردن معادله زیر ارائه شده است (Bernacki et al., 1972):

$$A' = \lambda \frac{h'}{h} \quad (1)$$

که در این معادله I مدول چگالی جرمی جسم است. مقدار این کار با تقریب بالا بصورت مساحت مثلث OBC خواهد بود:

$$A' = \frac{Ph'}{2} \quad (2)$$

که در این معادله P مقدار فشار تیغه در لحظه وقوع برش واقعی است.

با بررسی معادلات فوق دو رابطه زیر حاصل می‌شود:

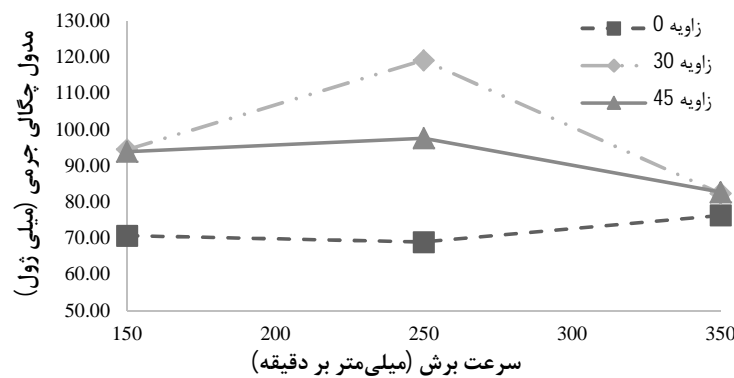
$$\lambda = \frac{Ph}{2} \quad (3)$$

$$\eta_z = \tan \theta = \frac{P}{h'} \quad (4)$$

که در این معادلات، η_z ضریب مقاومت در مقابل له شدن و I مدول چگالی جرمی جسم است و در واقع این ضریب برای مواد ویسکوالاستیک که قبل از برش ابتدا مقداری لهیدگی در آن‌ها رخ می‌دهد بیان می‌شود. واحد آن واحد کار بوده و مقدار آن نسبت بین کار لازم برای له کردن به نسبت لهیدگی است. به عبارتی اگر یک ماده شکننده باشد، باتوجه به رابطه، این ضریب مقدار کار لازم برای

جرمی نشان دهنده آن بود که زاویه برش تأثیر معنی‌دار (در سطح ۱ درصد) روی آن داشته در حالی که تأثیر سرعت برش و اثر متقابل زاویه برش \times سرعت برش بر این عامل معنی‌دار نبوده است. همچنین نتایج بررسی مقایسه میانگن‌های دانکن نشان داد که در تغییر زاویه‌ها بین زاویه ۳۰ و ۴۵ درجه تفاوت معنی‌دار نبوده ولی بین هر دو زاویه با زاویه صفر درجه تفاوت معنی‌دار بوده است (جدول ۲). نتایج مشابهی از تأثیر سرعت و زاویه برش بر ساقه توسط سایر محققین ارائه گردیده است (Rabbani et al., 2015).

نشان داد که مدول چگالی جرمی در برش با تیغه صفر درجه کمترین مقدار و در زمان برش با تیغه ۳۰ درجه بیشترین مقدار را داشته است. همچنین مشخص شد که در زمان استفاده از تیغه با زاویه صفر درجه، افزایش سرعت از ۱۵۰ میلی‌متر بر دقیقه تا ۳۵۰ میلی‌متر بر دقیقه سبب افزایش ملایمی در مدول جرمی شده است، در حالی که در برش با تیغه‌های ۳۰ و ۴۰ درجه افزایش مدول جرمی در سرعت ۲۵۰ میلی‌متر بر دقیقه و سپس کاهش در سرعت ۳۵۰ میلی‌متر بر دقیقه مشاهده گردید. نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها برای مدول چگالی



شکل ۳- نمودار سرعت برش - مدول چگالی جرمی

داشت که در حالتی که زاویه‌های برش بیشتر از صفر درجه است، بردار سرعت V تیغه دارای دو مؤلفه عمودی V_n و مؤلفه مماسی V_s است. در زاویه برش صفر، $V_s = 0$ و $V_n = V$ است. در این حالت دانه با فشرده شدن در فاصله بین تیغه و ضد تیغه بریده می‌شود. در صورتی که با افزایش زاویه مایل، مؤلفه مماسی V_s با ایجاد سرش بر روی دانه سبب برش ساده‌تر آن و در نتیجه باعث سهولت عملیات برش می‌شود. نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۱) نشان داد که تأثیر زاویه برش بر ضریب مقاومت در برابر له شدن معنی‌دار (در سطح ۱ درصد) بوده در حالی که تأثیر سرعت بر روند کاهشی این ضریب و اثر متقابل سرعت و زاویه برش تأثیر معنی‌داری نداشته است.

نتایج حاصل از مقایسه میانگین‌ها نیز نشان داد که همانند مدول چگالی جرمی، در مقاومت در برابر له شدن نیز بین زوایای ۳۰ و ۴۵ درجه تفاوت معنی‌دار نبوده است. این در حالی است که در مقایسه با زاویه صفر درجه تفاوت کاملاً معنی‌دار بود.

شکل ۴ نشان می‌دهد که با افزایش سرعت و زاویه برش به طور کلی ضریب مقاومت در برابر له شدن کاهش می‌یابد. نتایج مشابهی از تأثیر سرعت و زاویه برش بر کاهش ویژگی‌های برشی در برگ گیاه سیزال^۱ و همچنین تأثیر تغییرات زاویه برش بر برش گل محمدی توسط سایر محققین گزارش گردیده است (Song et al., 2022;) (Sohrabi et al., 2013).

در برش با زوایای بیش از صفر درجه، تماس تیغه از یک نقطه شروع شده و با پیشروی تیغه، برش انجام می‌گیرد که در مقایسه با حالت زاویه صفر درجه ضریب مقاومت در برابر لهیدگی در زوایای بیش از صفر کمتر از زاویه صفر درجه است؛ زیرا که در لحظه تماس تیغه در زاویه صفر درجه، کل لبه با محصول تماس برقرار می‌کند و نیازمند نیروی بیشتری برای نفوذ است و بافتی از محصول که در برابر نفوذ مقاومت می‌کند دارای حجم بیشتری خواهد بود (Rabbani et al., 2015). علت آن را می‌توان اینگونه بیان

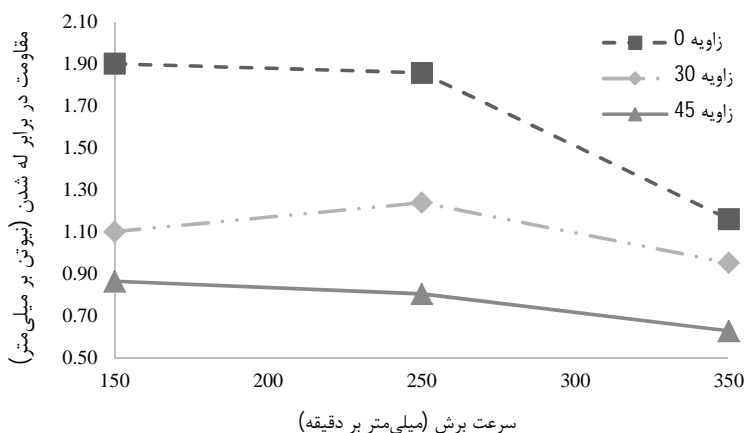
جدول ۱- خلاصه نتایج تجزیه واریانس (میانگین مربعات) برای صفات مورد مطالعه در برش دانه‌های باقلا

تیمار	درجه آزادی	مدول چگالی جرمی	ضریب مقاومت در برابر له شدن	ضریب کار مفید
تکرار	۵	۳۱۷/۴۵ ^{ns}	۰/۲۱ ^{ns}	۱۰۴/۸۲ ^{ns}
زاویه برش	۲	۶۸۴۶/۴۴ ^{**}	۲۴/۲۴ ^{**}	۰/۰۳ ^{ns}
سرعت برش	۲	۱۹۹۱/۷۳ ^{ns}	۱/۱۹ ^{ns}	۰/۰۱ ^{ns}
زاویه برش × سرعت برش	۴	۳۱۱۲/۸۶ ^{ns}	۵/۹۰ [*]	۰/۰۳ ^{ns}
خطا	۴۰	۴۲۷/۱۰	۰/۵۰	۰/۰۶

* در سطح ۵٪ معنی‌دار؛ ** در سطح ۱٪ معنی‌دار؛ ns بی‌معنی

جدول ۲- مقایسه میانگین‌های دانکن، تأثیر زاویه برش بر خواص مکانیکی

زاویه برش	مدول چگالی جرمی	مقاومت در برابر له شدن
صفر درجه	۷۱/۹۱ ^b	۲/۳۰ ^a
۳۰ درجه	۹۸/۵۷ ^a	۱/۰۴ ^b
۴۵ درجه	۹۱/۳۵ ^a	۰/۷۶ ^b



شکل ۴- نمودار سرعت برش - ضریب مقاومت در برابر له شدن

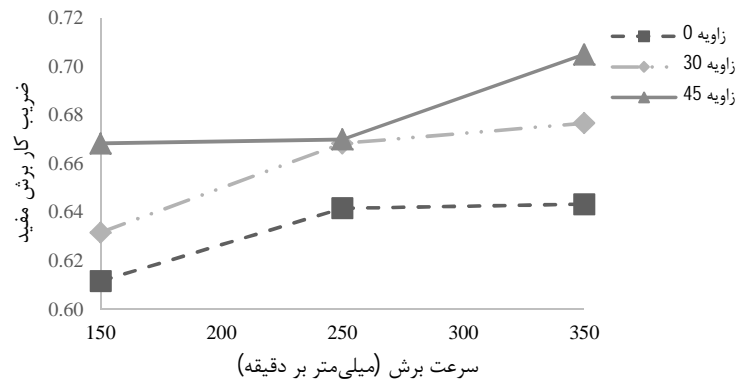
نتیجه‌گیری

در این پژوهش تأثیر زاویه برش و سرعت برش بر خواص برشی دانه باقلا مورد بررسی قرار گرفت. مدول چگالی جرمی، ضریب مقاومت در برابر له شدن و ضریب کار مفید برش ویژگی‌های مورد نظر بودند. نتایج نشان داد که تغییرات سرعت برش در محدوده ۱۵۰ تا ۳۵۰ میلی‌متر بر دقیقه و همچنین تغییرات زاویه برش در محدوده صفر تا ۴۵ درجه سبب تغییرات منظم و مشخصی بر مدول چگالی جرمی نشده است. از طرف دیگر، یافزایش سرعت برش از ۱۵۰ به ۳۵۰ میلی‌متر بر دقیقه و همچنین افزایش زاویه برش از صفر تا ۴۵ درجه سبب افزایش ضریب کار مفید برش و کاهش مقاومت در برابر له شدن می‌شود. در نهایت با در نظر گرفتن این موارد می‌توان گفت که بهبود کیفیت برش با افزایش سرعت و زاویه برش رخ

نمودار شکل ۵ نشان می‌دهد که با افزایش سرعت برش مقدار ضریب کار برش مفید افزایش یافته به نحوی که با افزایش سرعت مقدار این ضریب به ۱ نزدیک‌تر می‌شود، این موضوع نشان دهنده بهبود عملکرد برش در سرعت‌های بالاتر است. هر چند که این افزایش با توجه به نتایج تجزیه واریانس از لحاظ آماری بی‌معنی بود. از طرفی با افزایش زاویه برش نیز مقدار ضریب کار برش مفید افزایش می‌یافت و این افزایش از لحاظ آماری در سطح ۱ و ۵ درصد معنی‌دار نبود. کاهش مقاومت در برابر لهیدگی با افزایش سرعت و زاویه برش توجیه کننده و در راستای افزایش ضریب کار برش مفید تحت تأثیر هر دو ویژگی است.

نتایج تأثیر سرعت برش و زاویه برش بر ویژگی‌های برشی تقریباً با روندی یکسان مشاهده گردید به همین جهت می‌توان نتایج به دست آمده را به طور کلی برای محصولات کشاورزی بسط داد.

داده‌است. مشخص شد که از بین عوامل مورد بررسی در این مطالعه زاویه برش تنها عاملی است که بر دو صفت مدول چگالی جرمی و ضریب مقاومت در برابر له‌شدن اثر معنی‌دار داشت. با توجه به ساختار نسبتاً متفاوت دانه باقلا با ساقه محصولاتی همچون مرکبات، گل رز و گیاه سیزال،



شکل ۵- نمودار سرعت برش - ضریب کار برش مفید

- Lorestani, A.N., & Ghari, M. (2012). Mass modeling of Fava bean (*vicia faba L.*) with some physical characteristics. *Scientia Horticulturae*, 113: 6-9.
- Rabbani, H., Sohrabi, N., Gholami, R., Jaliliantabar, F., & Waismorady, A. (2015). Determination of mass density module, crush resistance coefficient and cutting efficiency of rose (*Rosa Damascene Mill.*). *Scientia Horticulturae*, 190: 144-148.
- Saharan, S., Zotzel, J., Stadmuler, J., Bonerz, D., Aschof, J., Olsen, K., Rinnan, A., Eve, A., Maillard, N.M., & Orlie, V. (2022). Effect of industrial process conditions of fava bean (*Vicia faba L.*) concentrates on physico-chemical and functional properties. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 81: 103142.
- Singh, S., Gaikwad, K. K., & Lee, Y. S. (2019). Development and application of a pyrogallol acid-based oxygen scavenging packaging system for shelf life extension of peeled garlic. *Scientia Horticulturae*, 256: 108548.
- Sohrabi, N., Rabbani, H., & Gholami, R. (2013). Determining shear strength, tensile strength, shearing energy and plucking of rose petals and sepals. *Agricultural Engineering (Scientific Journal of Agriculture)*, 36: 93-104. (In Persian)
- Song, S., Zhou, H., Xu, L., Jia, Z., & Hu, G. (2022). Cutting mechanical properties of sisal leaves under rotary impact cutting. *Industrial Crops and Products*, 182: 114856.
- Suthar, S.H., & Das, S.K. (1996). Some Physical Properties of Karingda Seeds. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 65: 15-22.
- Vu, V.D., Ngo, Q.H., Nguyen, T.T., Nguyen, H.C.,

سپاس‌گزاری

نویسندگان این مقاله بر خود لازم می‌دانند از دانشگاه رازی و گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم آن دانشگاه به منظور فراهم نمودن شرایط مورد نیاز برای این پژوهش تقدیر و تشکر نمایند.

منابع

- Altuntas, E., & Yildiz, M. (2007). Effect of moisture content on some physical and mechanical properties of faba bean (*Vicia faba L.*) grains. *Journal of Food Engineering*, 78: 174-183.
- Anonymous (2020). *Food and agricultural organization of the United Nations statistics division*. Available from: <http://FAOstat3.fao.org/download/Q/QC/E/>
- Baghaei, H., & Habibi, M.B. (2005). Antinutritional compounds of legumes and comparison of heating methods in their removal. *The first national conference of legumes, Mashhad-IRAN* (In Persian)
- Bernacki, H., Haman, J., Kanafojski, C., 1972. *Agricultural Machines, Theory and Construction*. Department of Commerce National Technical Information Service, Washington, DC, 535.
- Jaliliantabar, F., Lorestani, A.N., & Gholami, R. (2012). Physical properties and mechanical behavior in quasi-static loading of faba bean (*Vicia faba L.*). *Quality Assurance and Safety of Crops & Foods*, 4: 193-198.

- Nguyen, Q.T., & Nguyen, V.D. (2020). Multi-objective optimisation of cutting force and cutting power in chopping agricultural residues. *Biosystems Engineering*, 191: 107-115.
- Wang, Y., Yang, Y., Zhao, H., Liu, B., Ma, J., He, Y., Zhang, Y., & Xu, H. (2020). Effects of cutting parameters on cutting of citrus fruit stems. *Biosystem Engineering*, 193: 1-11.
- Zare, S., Hedari, R., & Ebadi, A. (2003). Effect of moist heat on the activity of trypsin inhibitors in common pea, white bean and Faba bean. *Research and construction in agriculture and horticulture*, 59: 87-93. (In Persian)