

Evaluation of Three Methods for Separating Pumpkin Seeds

PARSA HAYDARI¹, ALI HAJIAHMAD^{2*}, AMIR HOSEIN MIRZABE³

1. Department of Mechanics of Biosystem Engineering, Faculty of Engineering & Technology, College of Agriculture & Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran

(Received: Sep. 24, 2020- Revised: Jan. 8, 2021- Accepted: Jan. 30, 2021)

ABSTRACT

Three methods of separating hollow from fill seeds have been studied to improve the separation quality of pumpkin seeds. In the first method, the separation was performed based on seeds' heat capacity by measuring the seeds' temperature with a thermal camera and examining the seeds' cooling process. In the second method, the seeds' terminal velocities were obtained by theoretical calculations and then examined by a practical experiment using an electro-fan. In the third method, with theoretical calculations and obtaining the frictional and electrostatic forces, this method's efficiency was evaluated in practice by a rotating disc. These three methods were evaluated based on accuracy, cost, required time of the process, and equipment used. In this study, it was found that the accuracy of the separation method based on heat capacity (100%) is higher than all methods, followed by the method based on limit velocity (93%) and coefficient of friction (86%), respectively.

Keywords: Thermal imaging, Terminal velocity, Image processing, Electrostatic

ارزیابی سه روش برای جداسازی دانه‌های کدو

پارسا حیدری^۱، علی حاجی احمد^{۲*}، امیرحسین میرزابه^۳

۱. گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشکده مهندسی و فناوری، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران،

کرج، ایران

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۷/۳ - تاریخ بازنگری: ۱۳۹۹/۱۰/۱۹ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۹/۱۱/۱۱)

چکیده

با هدف بالا بردن کیفیت جداسازی دانه‌های کدو به بررسی سه روش جداسازی دانه‌های پوک از مغزدار پرداخته شده است. در روش اول جداسازی برپایه‌ی ظرفیت گرمایی دانه‌ها به کمک اندازه‌گیری دمای دانه‌ها توسط دوربین حرارتی و بررسی روند سرد شدن دانه‌ها انجام شد. در روش دوم سرعت حد دانه‌ها توسط محاسبات تئوری تعیین و سپس توسط آزمایش عملی به کمک یک فن مورد ارزیابی قرار گرفتند. در روش سوم نیز به کمک محاسبات تئوری و تعیین نیروی اصطکاک و الکترواستاتیک دانه‌ها، کارایی این روش نیز به صورت عملی و توسط یک صفحه چرخان مورد بررسی قرار گرفت. این روش‌ها بر اساس دقت، هزینه، زمان مورد نیاز فرایند، و تجهیزات استفاده شده مورد بحث و بررسی قرار گرفتند. در این بررسی مشخص گردید دقت جداسازی بر پایه ظرفیت گرمایی (۱۰۰٪) نسبت به سایر روش‌ها بالاتر بوده و پس از آن به ترتیب جداسازی بر اساس سرعت حد (۹۳٪) و ضریب اصطکاک (۸۶٪) قرار دارند.

واژه‌های کلیدی: تصویر برداری حرارتی، سرعت حد، پردازش تصویر، الکترواستاتیک

مقدمه

مصرف گیاهان تضمین کننده سلامت بوده و خطر ابتلا به بیماری‌های مزمن را کاهش می‌دهد. گیاهان دارای مواد مغذی بسیاری از جمله پتاسیم، فیبر و ویتامین آ هستند (Barthel, 2011). در میان گیاهان، دانه کدو منبعی غنی از پروتئین، فیبر و مواد معدنی است (Patel, 2013). روغن غیر اشباع دانه کدو دارای فواید بسیاری در رژیم غذایی انسان است. از جمله این فواید می‌توان به جلوگیری از کاهش اندازه پروستات و تنظیم فشار خون اشاره نمود (Siano et al., 2016; Stevenson et al., 2007). علاوه بر مصارف غذایی دانه کدو، عصاره این دانه به منظور مصارف دارویی نیز به کار می‌رود (Sharma et al., 2020). با توجه به مصارف متنوع این محصول، ارائه روشی بهینه برای جداسازی دانه‌های پوک از مغزدار پس از برداشت محصول ضروری به نظر می‌رسد.

کاهش هزینه و افزایش عملکرد محصول در واحد سطح را می‌توان از مزایای اساسی ارائه روش بهینه جداسازی دانه‌های پوک از مغزدار برشمرد (Granitto et al., 2002; Han et al., 2014). در این راستا، در پژوهش‌های انجام شده، روش‌های مختلفی مورد بررسی قرار گرفته است. به عنوان مثال به منظور

جدا کردن دانه پوک از مغزدار، در کاج درازبرگ و کاج قرمز، از روش غوطه‌وری استفاده شده است. برای جلوگیری از خرابی بذر، ماده غوطه‌ور کننده به ترتیب، ان - پنتان ۱ و الکل ۲ انتخاب گردید (Baldwin, 1932; Men et al., 2017). در مطالعه‌ای دیگر به منظور تشخیص دانه سالم لفل و دانه کاج سیاه اروپایی از دانه خراب و ارزیابی توانایی جوانه زنی دانه، به ترتیب از اشعه ایکس ۳ و اشعه مادون قرمز ۴ استفاده شده است (Gagliardi & Marcos, 2004; Filho, 2011; Tigabu & Odén, 2004). همچنین روشی دیگر برای جداسازی دانه‌های پوک از دانه‌های مغزدار، استفاده از یک میدان الکتریکی ولتاژ بالا می‌باشد (Abdel-Salam et al., 2004; Yadav, 2000). روش‌های مذکور با وجود مزایای غیر قابل انکار، دارای معایبی از قبیل هزینه بالا (جهت استفاده از اشعه ایکس یا میدان الکتریکی ولتاژ بالا) و یا محدودیت کاربرد (غوطه ور کردن دانه‌ها درون سیال) هستند.

در پژوهش حاضر، تفکیک به کمک روش تصویربرداری حرارتی فعال صورت گرفت که یکی از روش‌های جدید جداسازی است. تصویر برداری حرارتی به دو روش عمده فعال و غیرفعال^۵ انجام می‌پذیرد. در روش فعال علاوه بر استفاده از دوربین حرارتی یک منبع خارجی به منظور تحریک شیء هدف، برای مشخص

* نویسنده مسئول: hajiahmad@ut.ac.ir

1 n-pentane
2 Alcohol
3 X-ray
4 Infrared
5 Active and Passive

جداسازی بر پایه سرعت حد، روشی متداول بوده و بسیاری از دستگاه‌های بوجاری موجود در بازار بر این پایه عمل می‌کنند (McCormack, 2004). در این پژوهش دو روش برپایه‌های ظرفیت گرمایی و تفاوت در نیروی گریز از مرکز توسعه داده شده و به منظور بررسی کارایی با روش نام برده مقایسه شده است. هدف این پژوهش مقایسه کارایی این روش‌ها برای تعیین بهترین روش جداسازی می‌باشد.

مواد و روش‌ها

روش جداسازی بر پایه‌ی ظرفیت گرمایی

به منظور بررسی روش ترموگرافی برای بوجاری دانه‌های کدو حلواپی، ۷۰ عدد دانه کدو به صورت تصادفی از چند کدو حلواپی با اندازه‌های متفاوت، انتخاب گردیدند. این تعداد با توجه به تحقیق‌های مشابه در این زمینه انتخاب گردید (Jahanbakhshi et al., 2016; Al hosseini et al., 2011). با هدف یکسان سازی محتوای رطوبتی، ابتدا دانه‌ها به مدت ۲۴ ساعت در آن ۳ حرارت داده شدند تا کاملاً خشک گردند. سپس به منظور به حداقل رساندن تبادل گرما از طریق رسانایی، دانه‌ها بر روی یک توری فلزی چیده شدند (شکل ۱).

تبادل دما با هوای اطراف در اثر چیده شدن دانه‌ها بر روی توری فلزی، باعث خنک شدن دانه‌ها می‌گردد. دمای محیط در زمان آزمایش، به کمک یک دماسنج دیجیتال^۴ با دقت ۰/۱ درجه سلسیوس، به طور میانگین برابر با ۱۴/۹ درجه سلسیوس ثبت گردید (شکل ۲- الف). پس از آن که دانه‌ها از آن خارج گردیدند؛ با سپری شدن زمان ۱۵ دقیقه، تقریباً از لحاظ دمایی با محیط اطراف خود به تعادل رسیدند. سپس با کمک یک ترازوی دیجیتال^۵ با دقت ۰/۰۱ گرم توزین شدند (شکل ۲- ب).

سپس به منظور تصویربرداری حرارتی فعال، دانه‌ها مجدداً در آن قرار داده شدند. با انجام آزمایش‌های اولیه، دمای ۴۰ درجه سلسیوس به عنوان حداقل دمای تحریک حرارتی برگزیده شد. زیرا این دما، کمترین دمایی است که با دمای محیط در اکثر فصول، حداقل ۵ درجه سلسیوس اختلاف دارد و امکان اجرای آزمایش در این دما وجود دارد. همچنین دماهای ۵۰ و ۶۰ (درجه سلسیوس) به منظور بررسی تاثیر درجه حرارت بر روی دانه‌ها، در مدت زمان‌های ۱۵، ۲۵ و ۳۵ (دقیقه) به منظور بررسی تاثیر زمان حرارت دهی در آن، بر روی دانه‌ها آزمایش شدند. سپس دانه‌ها طی زمانی کمتر از ۱۰ ثانیه بر روی میز آزمایشگاه قرار داده شدند

شدن الگوهای حرارتی آن نیاز است. این منبع می‌تواند شیء هدف را به صورت گرم یا سرد تحریک بنماید. این درحالی است که در روش غیر فعال نیازی به منبع تحریک خارجی نیست و خود شیء به تنهایی دارای الگوهای حرارتی منحصر به فردی است. در تصویر برداری حرارتی غیرفعال می‌توان به صورت کیفی وضعیت شیء هدف را مورد ارزیابی قرار داد. در حالی که به کمک تصویربرداری فعال می‌توان علاوه به بررسی کیفی با تحت کنترل گرفتن شرایط تحریک به صورت کمی نیز شیء مورد نظر را مورد ارزیابی قرار داد (Hajalioghli & Moghaddam, 2019; Doshvarpassand et al., 2019). نهایتاً با مطالعه الگوهای به دست آمده از ارزیابی تصاویر حرارتی دانه‌ها می‌توان به بررسی میزان آسیب وارده به بذر و تشخیص ناخالصی بذر پرداخت (Salimi & Boelt, 2019; ElMasry et al., 2020).

رایج‌ترین روش جداسازی دانه‌های مغزدار استفاده از سرعت حد و خواص آیرودینامیکی دانه است. این روش به صورت گسترده در عمل بوجاری و درجه بندی محصولات کشاورزی به کار می‌رود (Simonyan & Yiljep, 2008; Khodabakhshian et al., 2018). برای نمونه از این روش برای جداسازی دانه‌های پوک از مغزدار کاج استفاده شده است (Squillace, 1955). از دیگر روش‌های جداسازی دانه‌ها استفاده از نیروی الکترواستاتیک^۱ است. نیروی وزن در این روش نقش تعیین کننده‌ای را برای عمل تفکیک ایفا می‌کند. در پژوهشی سبوس دانه‌های گندم با توجه به ویژگی‌های بافت و تفاوت در محتوای رطوبت به کمک روش الکترواستاتیک از بافت آلئورون^۲ تفکیک داده شدند (Dascalescu et al., 2010). در پژوهشی دیگر به منظور پاک‌سازی بذور جو، گندم و کلزا از روش الکترواستاتیک استفاده گردید. نتایج نشان دهنده معنی‌دار بودن ($P < 0.05$) این روش بود. حداکثر جداسازی در رطوبت کم، برای همه دانه‌ها با استفاده از ولتاژ ۱۱/۵ کیلوولت بود (Basiry & Esehaghbeygi, 2012).

در بین روش‌های موجود برای جداسازی دانه‌ها عوامل مختلفی حائز اهمیت هستند که باید در انتخاب شیوه جداسازی دانه مد نظر قرار گیرند. کارایی، دقت، و هزینه روش جداسازی مهمترین این عوامل هستند. در پژوهش حاضر با هدف جداسازی دانه‌های کدو حلواپی رقم کالابازا، سه روش جداسازی بر پایه‌ی ظرفیت گرمایی، سرعت حد و تفاوت در نیروی گریز از مرکز را مورد بررسی قرار گرفته است. از میان روش‌های نام برده، روش

اتصال به تلفن همراه، استفاده گردید. در جدول (۱) مشخصات دوربین حرارتی مورد استفاده ذکر شده است. در پایان، به منظور تجزیه و تحلیل و رسم نمودار روند خنک شدن دانه‌ها، دمای نقاط مرکزی دانه‌ها در تصویر حرارتی به عنوان نقطه مبنا برای اندازه‌گیری دمای دانه در نظر گرفته شد. زیرا فاصله این نقطه با نقاط واقع بر روی لبه دانه تقریباً برابر است.

و تصویربرداری از آن‌ها آغاز گردید. تصویربرداری از دانه‌های کدو هر ۵ ثانیه یک بار، تا زمانی که دانه‌های کدو با محیط اطراف خود هم دما شدند، ادامه یافت. باید توجه داشت که هدف پژوهش حاضر بررسی دمای مناسب جهت تفکیک دانه‌ها از یکدیگر می‌باشد و با فرض این که بعداً دانه‌ها به صورت آجیل مصرف می‌گردند، دمای‌های انتخاب شده تاثیر چندانی بر کیفیت محصول نخواهد گذاشت. در این پژوهش از دوربین حرارتی^۱ با قابلیت



شکل ۱- دانه‌های کدوی چیده شده بر روی توری فلزی (دانه‌های پوک با نقطه سیاه مشخص شده‌اند)



ب



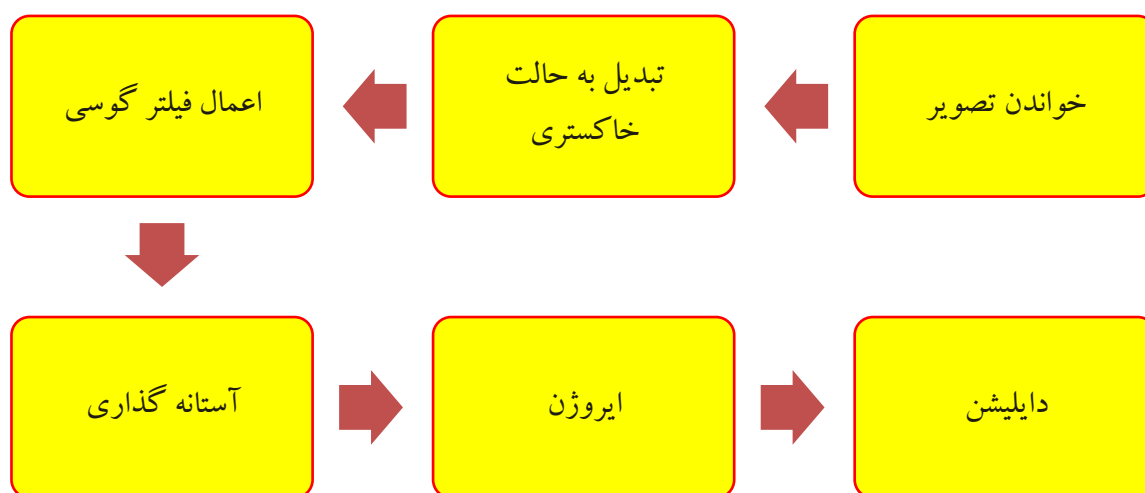
الف

شکل ۲- الف) دماسنج دیجیتال برای اندازه‌گیری دمای محیط (Eshop, 2021) ب) ترازوی دیجیتال به منظور توزین دانه‌ها (Digikala, 2021)

کرل^۵ در ۵ بر روی تصویر اعمال شد. پس از آن، تلاش گردید با اعمال مقدار آستانه مناسب بر روی تصویر خاکستری حاصل از تصویر حرارتی، دانه‌های پوک از مغزدار جدا گردند. سپس به منظور حذف اثر احتمالی نویزهای باقی‌مانده در تصویر، به کمک عمل ایروژن^۶ پیکسل‌های تصویر یک مرتبه، در هم فشرده و به کمک عمل دایلیشن^۷ پیکسل‌های تصویر به حالت قبلی خود بازگردانده شدند. نتیجه این عمل محو کامل پیکسل‌های احتمالی به جا مانده (به صورت ناخواسته) در تصویر است. در نهایت انتظار می‌رود تصویری که از این عملیات باقی می‌ماند، فقط تصویر دانه‌های مغزدار (به دلیل شدت روشنایی بیشتر) باشد (Jamil *et al.*, 2008). فرایند کامل عملیات پردازش تصویر در شکل (۳) نمایش داده شده است.

جدول ۱- مشخصات دوربین حرارتی مورد استفاده		
کمیت	مقدار	واحد
دمای کاری	۰ الی ۳۵	درجه سلسیوس
وزن	۳۶/۵	گرم
رزولوشن ^۱ حرارتی	۱۲۰×۱۶۰	پیکسل
رزولوشن دیداری	۱۰۸۰×۱۴۴۰	پیکسل
نرخ فریم	۸/۷	هرتز
دقت	۰/۱	درجه سلسیوس

به منظور پردازش تصویر، اولین تصویر حرارتی گرفته شده از دانه‌ها در محیط برنامه نویسی پایتون بارگذاری شد. جهت تشخیص دانه‌های پوک از دانه‌های مغزدار، از روش آستانه‌گذاری در تصویر استفاده گردید. ابتدا تصویر به حالت خاکستری^۲ تبدیل شد. سپس به منظور کاهش اثر نویز^۳ و همچنین یکنواخت نمودن تصویر گرفته شده توسط دوربین، یک فیلتر گوسین بلور^۴ با



شکل ۳- نمودار مراحل پردازش تصویر حرارتی دانه‌های کدو

$$d_g = \sqrt[3]{l * w * t} \quad (\text{رابطه ۲})$$

در روابط فوق R_e نشان‌گر عدد رینولدز می‌باشد که عددی بدون بعد است. η نشان دهنده گرانشی سیال (نیوتون-ثانیه بر مترمربع) می‌باشد که در این پژوهش همان گرانشی هوا است. ρ_a نشان دهنده جرم حجمی سیال (هوا) می‌باشد (کیلوگرم بر متر مکعب) و d_g نشان دهنده میانگین قطر هندسی دانه‌ها می‌باشد (متر). l, w, t نیز به ترتیب ضخامت، عرض و طول دانه‌ها می‌باشند (متر).

روش جداسازی بر پایه سرعت حد

به عنوان روش بعدی برای جداسازی دانه‌های پوک از مغزدار، از سرعت حد دانه‌ها استفاده گردید. به منظور محاسبه دقیق سرعت حد رقم کدوی حاضر از رابطه‌ی (۱) در ابتدا قطر هندسی میانگین دانه‌ها توسط رابطه (۲) محاسبه شد (Mohsenin, 1974; Tahmasebi & Hashemi, 2014).

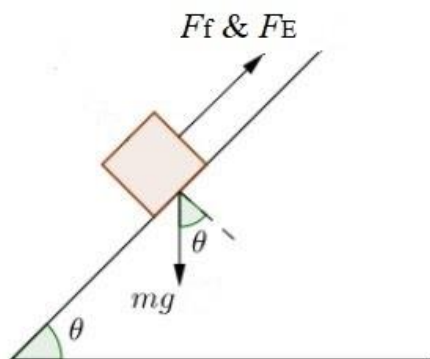
$$v_t = \frac{R_e \eta}{\rho_a d_g} \quad (\text{رابطه ۱})$$

روش جداسازی بر پایه نیروی الکترواستاتیک

سومین روشی که در این مقاله به منظور بوجاری دانه‌های کدو به کار گرفته شد، استفاده از اختلاف در نیروهای گریز از مرکز دانه-های پوک و مغزدار بود. در این روش یک دیسک گردان به قطر ۳۰ سانتیمتر توسط یک پارچه پشمی باردار گردید. سپس این دیسک بر روی یک موتور الکتریکی نصب شد و به عنوان عامل ایجاد نیروی گریز از مرکز برای دانه‌ها انتخاب گردید. نیروهای مخالف حرکت که شامل نیروی اصطکاک و نیروی الکترواستاتیک (رابطه ۷) بود به کمک رابطه (۸) به دست آمد. به این منظور ابتدا زاویه آستانه حرکت دانه، برای تمام دانه‌ها بر روی دیسک، با سه بار تکرار و عمل میانگین‌گیری به دست آمد. در نهایت دو مجهول رابطه (۸) یعنی نیروی میدان (F_E) و ضریب اصطکاک دانه‌ها (μ) با حل معادله (۸) یک بار برای دانه‌های مغزدار و یک بار برای دانه‌های پوک محاسبه شدند.

$$F_E + F_f = mg \sin \theta \quad (\text{رابطه ۷})$$

در معادله (۷) F_E نیروی میدان و F_f نیروی اصطکاک وارد بر دانه کدو بر حسب نیوتن می‌باشند. در این معادله به منظور ساده‌سازی، تنها مولفه‌ای از میدان که در راستای حرکت بود در نظر گرفته شد (شکل ۴).



شکل ۴- شماتیک نیروهای وارده بر دانه‌ی کدو بر روی سطح شیب‌دار

با قرار دادن $\mu \times mg \cos \theta$ به جای F_f ، معادله (۷) به شکل معادله (۸) در می‌آید.

$$F_E = mg (\sin \theta - \mu \cos \theta) \quad (\text{رابطه ۸})$$

در رابطه ۸، μ ضریب اصطکاک و بدون بعد است. m میانگین جرم دانه بر حسب کیلوگرم و g شتاب گرانش زمین با مقدار ۹/۸۱ متر بر مربع ثانیه می‌باشد. θ نیز بیان‌گر زاویه اصطکاک بر حسب درجه می‌باشد. پس از محاسبه ضریب اصطکاک دینامیکی و نیروی میدان به کمک رابطه (۹) مقدار نیروی اصطکاک با داشتن وزن دانه‌ها محاسبه گردید.

سپس مساحت مقطع عمود بر جریان هوا از رابطه (۳) محاسبه گردید.

$$A_g = \frac{\pi}{4} * d_g^2 \quad (\text{رابطه ۳})$$

حجم دانه‌ها نیز از رابطه (۴) محاسبه گردید.

$$v_g = \frac{\pi}{6} * d_g^3 \quad (\text{رابطه ۴})$$

جرم حجمی دانه از رابطه (۵) به دست می‌آید که در آن m_g جرم دانه بر حسب کیلوگرم و v_g حجم دانه بر حسب متر مکعب می‌باشد.

$$\rho_g = \frac{m_g}{v_g} \quad (\text{رابطه ۵})$$

همچنین به منظور به دست آوردن سرعت حد، عدد رینولدز نیز باید محاسبه گردد. برای محاسبه‌ی عدد رینولدز ابتدا باید مقدار رابطه‌ی (۶) به دست آید.

$$c_d R_e^2 = \frac{4g\rho_a d_g^3 (\rho_g - \rho_a)}{3\eta^2} \quad (\text{رابطه ۶})$$

در رابطه (۶) g شتاب گرانش زمین و c_d ضریب پسا می‌باشد که بدون بعد است. پس از محاسبه‌ی $c_d R_e^2$ ، به منظور محاسبه مقدار عدد رینولدز، ضریب پسای دانه کدو به دلیل شباهت در ابعاد و چگالی، با ضریب پسای دانه آفتابگردان رقم دورسفید^۲ برابر در نظر گرفته شد. مقدار ضریب پسا در کم‌ترین محتوای رطوبتی ۰/۷۵ انتخاب گردید (Chavoshgoli et al., 2014). با جایگذاری این مقادیر در رابطه (۱) سرعت حد v_t بر حسب (متر بر ثانیه) به دست می‌آید. گرانش هوا در این آزمایش $10^{-1} \times 9.81$ (نیوتون-ثانیه بر مترمربع) و چگالی آن مقدار ۱/۲ (کیلوگرم بر متر مکعب) در نظر گرفته شد (Mohsenin, 1974; Tahmasebi & Hashemi, 2014).

پس از محاسبات تئوری برای جداسازی دانه‌ها از یک فن حلزونی ۲۴ ولت به عنوان دمنده استفاده گردید. سرعت باد خروجی دمنده به کمک یک بادسنج ۳ با دقت ۰/۰۵ متر بر ثانیه اندازه‌گیری شد. و با تغییر سطح ولتاژ تغذیه دمنده، سرعت باد خروجی برابر با سرعت حد دانه تنظیم گردید. برای انتخاب سرعت حد جداسازی، سه سطح سرعت که عبارت بودند از سرعت حد متوسط همه دانه‌ها (۳/۹ متر بر ثانیه)، سرعت حد متوسط دانه‌های توپر (۴/۶ متر بر ثانیه) و بیشترین سرعت حد به دست آمده دانه (۵/۱ متر بر ثانیه)، مورد استفاده قرار گرفت. سرعت حد به دست آمده در این پژوهش از محاسبات تئوری، با مقادیر به دست آمده در آزمایش عملی (Joshi et al., 1993) در ستون هوا (۴/۷ متر بر ثانیه تا ۶/۵ متر بر ثانیه) به یکدیگر از لحاظ عددی نزدیک می‌باشند.

نتایج و بحث

تفکیک به کمک ظرفیت گرمایی

در شکل (۶) اولین تصویر حرارتی گرفته شده از دانه‌ها تحت دماها و زمان‌های مختلف ذکر شده ارائه شده است. مشاهده می‌شود با وجود این که این تصاویر در دماها و زمان‌های مختلف گرفته شده‌اند، از لحاظ ظاهری تفاوت چندانی با یکدیگر ندارند. همچنین با دقت در تصاویر مشخص است که دانه‌های پوک درخشش کمتری از خود به نسبت دانه‌های مغزدار نشان می‌دهند. در شکل (۷)، نمودار روند تغییرات دمایی دانه‌های پوک و مغزدار آورده شده است. با مشاهده روند تغییرات دمای دانه‌های پوک و مغزدار در تمام نمودارها مشخص است که در ابتدا تغییر دمای دانه‌های پوک بسیار سریع بوده و دانه‌های مغزدار روند ملایم‌تری را می‌پیمایند. این روند نشان می‌دهد که عمل تفکیک می‌تواند توسط اولین تصاویر گرفته شده از دانه انجام شود.

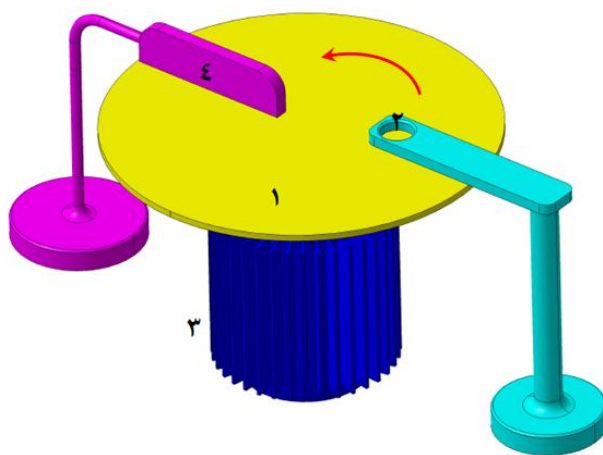
با توجه به نتایج فوق، به منظور تفکیک دانه‌ها و همچنین در نظر گرفتن صرف زمان و هزینه کمتر از این پس، پردازش تصویر بر روی تصویر الف شکل (۶)، که از لحاظ زمان قرار داده شدن در آن و دمای آن، نسبت به سایر تصاویر کمتر و به صرفه‌تر است، انجام گرفت. در صورت تفکیک مناسب به کمک این تصویر، طبیعی است که زمان‌های طولانی‌تر و دماهای بالاتر می‌توانند کار تفکیک را بهتر انجام دهند.

پس از آزمایش آستانه‌های مختلف مقدار روشنایی در تصاویر، به ازای انتخاب مقدار روشنایی آستانه ۲۲۹ در تصویر، دانه‌های مغزدار باقی ماندند و دانه‌های پوک کاملاً محو گردیدند (شکل ۸-ب). با انتخاب آستانه‌های مقدار روشنایی کمتر از مقدار ۲۲۹ دانه‌های پوک ظاهر می‌شوند (شکل ۸-الف) و با انتخاب مقداری آستانه روشنایی بیش از آن دانه‌های مغزدار حذف می‌شوند (شکل ۸-پ).

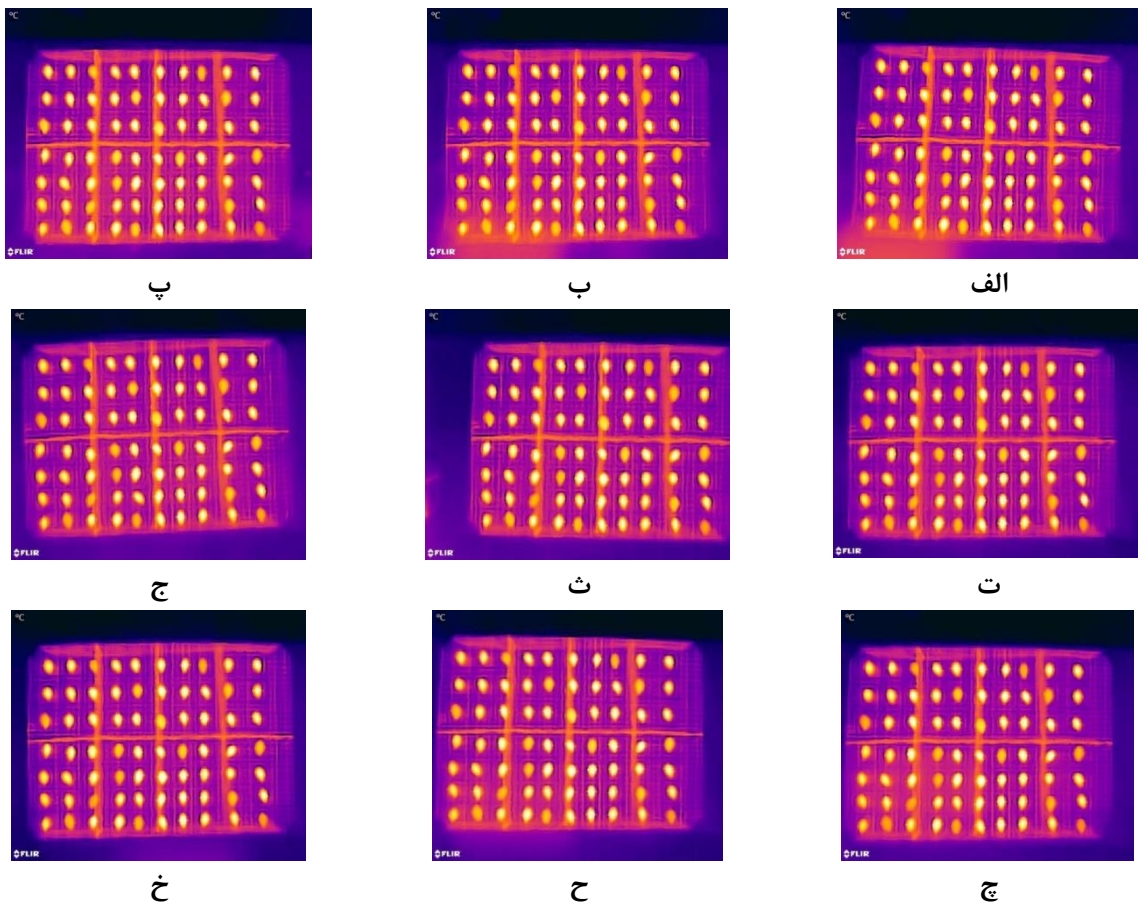
$$F_f = \mu \times mg \cos \theta \quad (\text{رابطه ۹})$$

پس از محاسبه این نیرو و نیروی میدان الکتریکی، نیروی گریز از مرکز (طبق رابطه ۱۰) به گونه‌ای محاسبه گردید که دانه‌های پوک همراه دیسک در گردش بمانند ولی دانه‌های مغزدار به سبب داشتن وزن بیشتر به بیرون پرتاب شوند. به این منظور، نیروی گریز از مرکز باید از مجموع نیروهای اصطکاک و الکترواستاتیک وارد بر سنگین‌ترین دانه پوک و سبک‌ترین دانه مغزدار به ترتیب کمتر و بیشتر باشد (شکل ۵). نیروی گریز از مرکز با فاصله از مرکز (r بر حسب سانتیمتر) و سرعت زاویه‌ای چرخش (ω بر حسب دور بر دقیقه) تغییر می‌کند. با محاسبه حالات تفکیک بهینه به صورت تئوری، عبارت $r\omega^2$ باید در محدوده ۴/۸۹ تا ۶/۴۱ قرار گیرد. باتوجه به این امر ۷ سطح آزمایش که ۴ سطح داخل و ۳ سطح خارج از محدوده مذکور بودند، انتخاب گردیدند: ۱- فاصله سقوط دانه از مرکز ۲/۷۱، ۳/۳۵، ۴/۲۵ و ۵/۴۵ (سانتیمتر) و سرعت چرخش دیسک ۱۳۳، ۱۲۲، ۱۱۱ و ۱۰۰ (دور بر دقیقه) باشد. ۲- فاصله سقوط دانه از مرکز ۱۰، ۷/۵ و ۵ (سانتیمتر) و سرعت چرخش دیسک ۷۹، ۹۱ و ۱۱۲ (دور بر دقیقه) باشد. پیش‌بینی می‌شود دانه‌های پوک طی این ۴ حالت با دیسک به گردش در آیند تا به صفحه نگه دارنده آخر دیسک برخورد کنند و از روی دیسک خارج گردند، اما دانه‌های توپر به دلیل وزن بیشتر و غلبه بر نیروی الکترواستاتیک ساکن باید تا قبل از رسیدن به صفحه، از روی دیسک از صفحه لیز بخورند و خارج گردند. به منظور محاسبه و تنظیم سرعت چرخش دیسک از یک دورسنج تماسی^۱ با دقت ۰/۱٪ استفاده و سرعت مطلوب با تغییر سطح ولتاژ تغذیه موتور، تنظیم شد.

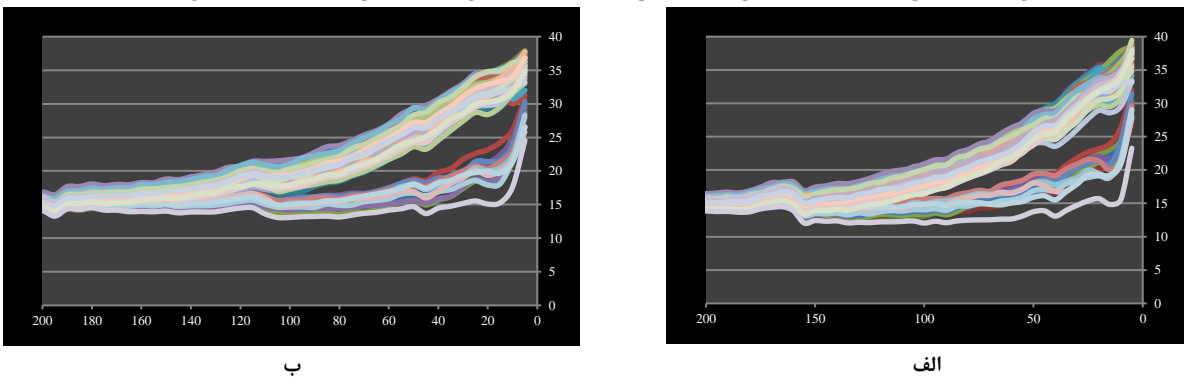
$$F_E + F_f = mr\omega^2 \quad (\text{رابطه ۱۰})$$



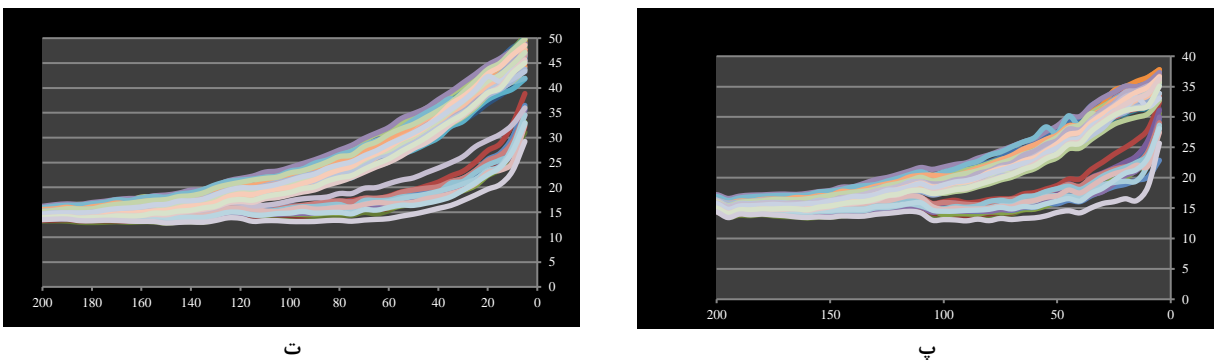
شکل ۵- تصویر دستگاه جدا کننده دانه به روش الکترواستاتیکی (۱ صفحه گردان (۲ محل سقوط دانه (۳ موتور صفحه گردان (۴ صفحه نگه دارنده آخر دیسک



شکل ۶- تصاویر حرارتی به دست آمده از دانه‌های درون آون قرار داده شده در دماها و زمان‌های مختلف (الف) ۴۰ درجه سلسیوس- ۱۵ دقیقه (ب) ۴۰ درجه سلسیوس- ۲۵ دقیقه (پ) ۴۰ درجه سانتیگراد- ۳۵ دقیقه (ت) ۵۰ درجه سلسیوس- ۱۵ دقیقه (ث) ۵۰ درجه سلسیوس- ۲۵ دقیقه (ج) ۵۰ درجه سلسیوس- ۳۵ دقیقه (چ) ۶۰ درجه سلسیوس- ۱۵ دقیقه (ح) ۶۰ درجه سلسیوس- ۲۵ دقیقه (خ) ۶۰ درجه سلسیوس- ۳۵ دقیقه

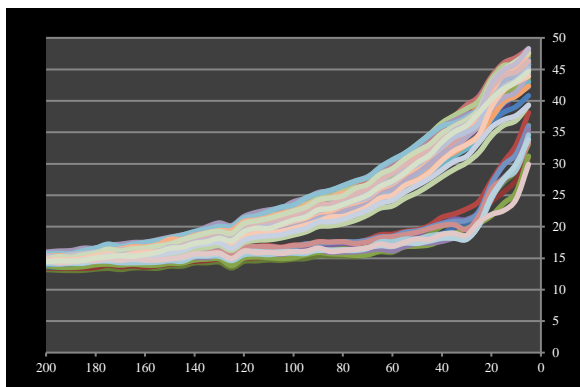


زمان بر حسب ثانیه

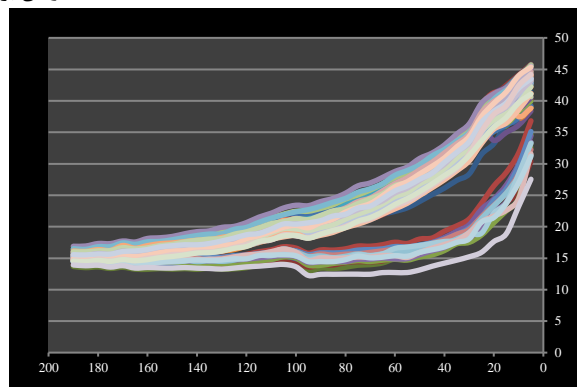


شکل ۷

زمان بر حسب ثانیه

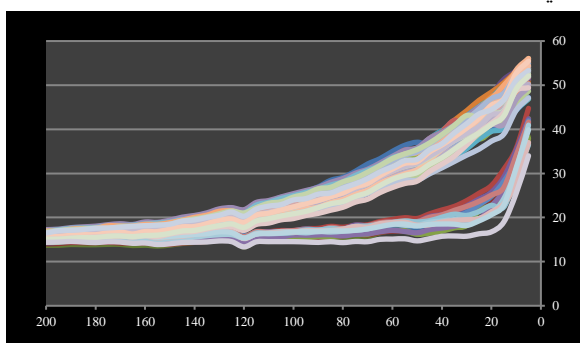


ج

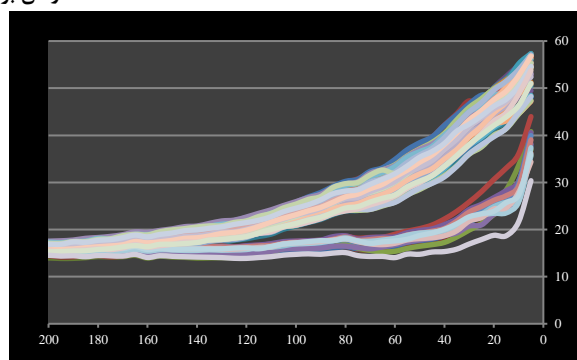


ث

زمان بر حسب ثانیه

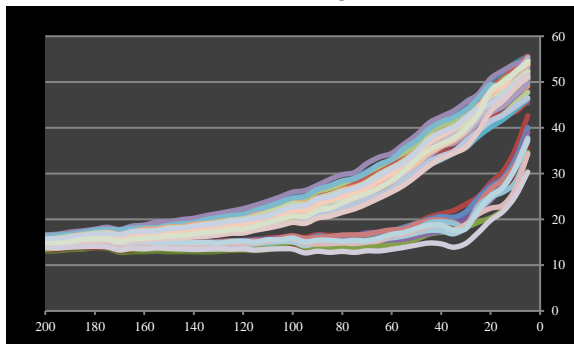


ح



چ

زمان بر حسب ثانیه

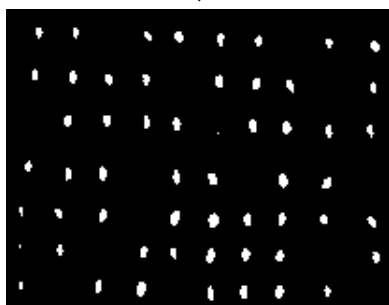


خ

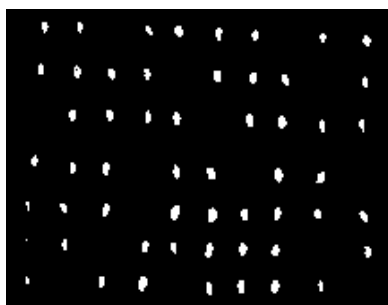
زمان بر حسب ثانیه

ادامه شکل ۷- تصاویر حرارتی به دست آمده از دانه‌های درون آون که در در دماها و زمان‌های مختلف قرار داده شده‌اند. محور افقی زمان بر حسب ثانیه و محور عمودی دما بر حسب درجه سلسیوس می‌باشد. الف) ۴۰ درجه سلسیوس - ۱۵ دقیقه ب) ۴۰ درجه سلسیوس - ۲۵ دقیقه پ) ۴۰ درجه سانتیگراد - ۳۵ دقیقه ت) ۵۰ درجه سلسیوس - ۱۵ دقیقه ث) ۵۰ درجه سلسیوس - ۲۵ دقیقه ج) ۵۰ درجه سلسیوس - ۳۵ دقیقه چ) ۶۰ درجه سلسیوس - ۱۵ دقیقه ح) ۶۰ درجه سلسیوس - ۲۵ دقیقه خ) ۶۰ درجه سلسیوس - ۳۵ دقیقه

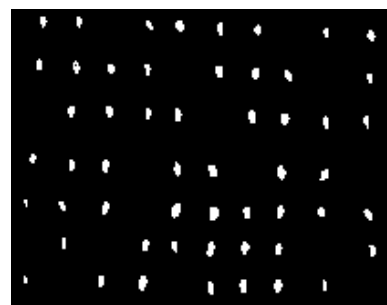
پ



ب



الف



شکل ۸- تفکیک دانه‌های مغزدار از پوک به ازای الف) آستانه‌ی روشنایی ۲۳۰ ب) آستانه‌ی روشنایی ۲۲۹ پ) آستانه‌ی روشنایی ۲۲۸

برنج از پوسته آن، در نمونه‌ای که شامل ۰/۴۰ پوسته و ۰/۶۰ دانه بود توانست با دقت ۱۰۰٪ عمل جداسازی را انجام دهد (Jamil & Bejo., 2014). در پژوهشی دیگر به منظور طبقه‌بندی دانه‌های نخود فرنگی براساس میزان سلامت دانه، دانه‌ها را با دقت ۹۱/۶۷٪ به سه دسته سالم، متوسط و خراب تقسیم نمود (McCormack., 2004).

به منظور مشاهده موفقیت روش از ماتریس درهم ریختگی استفاده شد (شکل ۹). با توجه به این ماتریس هم دانه‌های پوک و هم دانه‌های مغزدار کاملاً درست تشخیص داده شده‌اند. خطای این روش با تقسیم تعداد تشخیص‌های اشتباه به تعداد کل مقدار ۰ و دقت آن مقدار ۱۰۰٪ به دست می‌آید. همچنین زمان لازم برای تصویر برداری حرارتی در این روش به طور متوسط ۲۰۰ ثانیه برآورد می‌گردد. در پژوهشی مشابه به منظور جداسازی دانه

تعداد مغزدار	۵۵	۰
تعداد پوک	۰	۱۵
	تعداد تشخیص مغزدار	تعداد تشخیص پوک

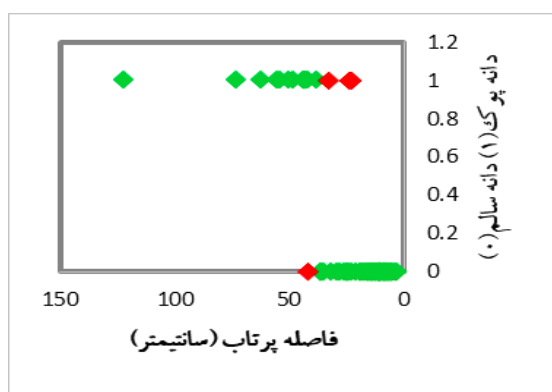
شکل ۹- ماتریس درهم ریختگی برای روش تصویر برداری حرارتی

فاصله‌های ۳۶، ۷۴ و ۵۶ (سانتیمتر) از مکان پرتاب، نسبت به یکدیگر قابل تفکیک هستند که ماتریس اغتشاش^۱ آن‌ها در شکل-های ۱۱، ۱۰ و ۱۲ بخش الف نمایش داده شده است. دقت تفکیک در این روش به ترتیب برای سرعت‌های ۶/۹، ۴/۳ و ۵/۷ برابر با ۰/۹۴، ۰/۹۴ و ۰/۹۵ و خطای تفکیک به ترتیب برابر ۰/۰۵، ۰/۰۵ و ۰/۰۴ می‌باشد.

تفکیک به کمک سرعت حد

در روش بعدی که جداسازی به کمک سرعت حد انجام گرفت، ابتدا فاصله مناسب با توجه به فاصله‌ای که دانه‌ها پرتاب شده‌اند، سپس ماتریس‌های درهم ریختگی هر سطح سرعت، جداگانه نمایش داده شد. در سرعت‌های ۳/۹، ۴/۶ و ۵/۷ (متر بر ثانیه) با توجه به بخش ب شکل‌های ۱۱، ۱۰ و ۱۲ به ترتیب، دانه‌ها در

ب



شکل ۱۰- الف) ماتریس درهم ریختگی برای روش سرعت حد در سرعت ۳/۹ متر بر ثانیه

ب) پرتاب دانه‌ها در سرعت ۳/۹ متر بر ثانیه

ب

الف

تعداد مغزدار	۵۴	۱
تعداد پوک	۳	۱۲
	تعداد تشخیص مغزدار	تعداد تشخیص پوک

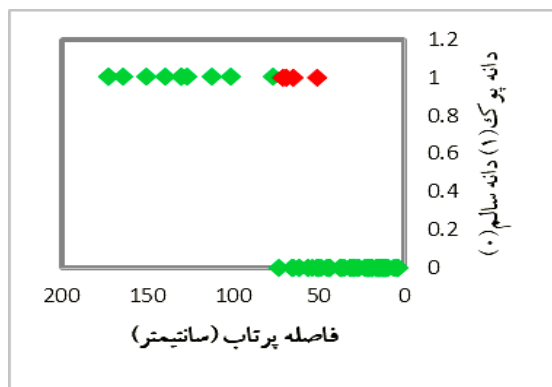
الف

بنابراین فاصله پرتاب آن‌ها کاهش می‌یابد. باید به این مسئله توجه داشت که در دستگاه‌های بوجاری بزرگ دانه‌ها به صورت توده‌ای وارد دستگاه می‌شوند. که این عامل باعث برخورد دانه‌ها به همدیگر می‌شود. پیش‌بینی می‌شود، در نتیجه این برخورد و برگشت برخی دانه‌های پرتاب شده به داخل دانه‌های تمیز درصد

عدم توانایی این روش در تفکیک کامل دانه‌ها را می‌توان در نحوه سقوط دانه‌ها جلوی فن جستجو کرد. زیرا تمام دانه‌ها با سطح مقطع کامل محاسبه شده در روش تئوری در مقابل جریان باد قرار نمی‌گیرند و ممکن است با چرخش خود به صورت تصادفی از سطح مقطع موثر خود در مقابل جریان باد بکاهند.

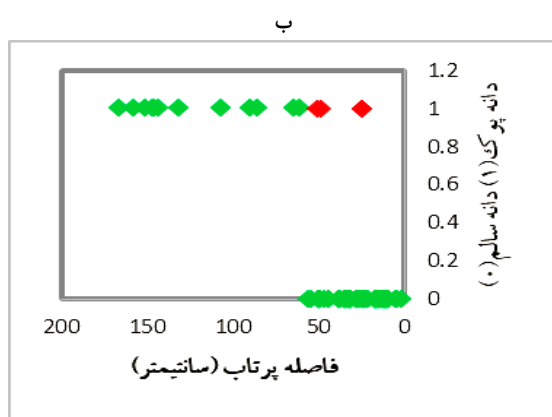
آمد (Agbetoye, 2004). همچنین در پژوهشی دیگر، با تغییر در پارامترهای سرعت هوا و سرعت تغذیه، برای ذرت علوفه‌ای توانستند به دقت پاکسازی ۹۹/۵٪ دست پیدا کنند (Simonyan & Yiljep, 2008).

تفکیک این روش در مقیاس تجاری باز هم کمتر گردد. زمان لازم برای تفکیک دانه‌ها در این روش نیز ۱۲۰ ثانیه بر آورد می‌گردد. در پژوهشی به منظور پاک‌سازی لوبیا چشم بلبلی، دقت پاک‌سازی به روش بوجاری بر پایه سرعت حد، مقدار ۰/۹۰ به دست



شکل ۱۱- الف) ماتریس در هم ریختگی برای روش سرعت حد در سرعت ۴/۶ متر بر ثانیه
ب) پرتاب دانه‌ها در سرعت ۴/۶ متر بر ثانیه

تعداد مغزدار	۰	۵۵
تعداد پوک	۱۱	۴
	تعداد تشخیص پوک	تعداد تشخیص مغزدار



شکل ۱۲- الف) ماتریس در هم ریختگی برای روش سرعت حد در سرعت ۵/۷ متر بر ثانیه
ب) پرتاب دانه‌ها در سرعت ۵/۷ متر بر ثانیه

تعداد مغزدار	۰	۵۵
تعداد پوک	۱۲	۳
	تعداد تشخیص پوک	تعداد تشخیص مغزدار

دقت تفکیک در روش تجربی برای سرعت ۱۳۴ و ۸۸ دور بر دقیقه به ترتیب ۰/۸۷ و ۰/۸۵ و خطای تفکیک نیز به ترتیب ۰/۱۲ و ۰/۱۴ به دست آمد. تفکیک نمودن دانه‌ها در این روش نیز ۱۲۰ ثانیه به طول انجامید. در پژوهشی مشابه به منظور جداسازی دانه‌های پنبه از بقایای پلاستیک به کمک میدان الکتریکی ۳۰ کیلوولت بازده ۹۶/۸٪ به دست آمد.

از لحاظ دقت، خطا و زمان مورد نیاز جهت انجام آزمایش می‌توان گفت: روش تفکیک به کمک تصویربرداری حرارتی از میان روش‌های بررسی شده دارای بیشترین دقت و کمترین خطا می‌باشد. البته باید توجه نمود که زمان مورد نیاز برای تفکیک دانه‌ها در این روش بیشتر بوده و همچنین نیازمند زمانی جهت آماده‌سازی (گرم کردن) دانه‌ها نیز می‌باشد. پس از آن روش

تفکیک به کمک اصطکاک دانه‌ها و نیروی الکترواستاتیکی در سومین روش بر پایه محاسبات انجام شده به صورت تئوری، در هیچ یک از سرعت‌ها و فاصله‌های در نظر گرفته شده تفکیک مناسبی صورت نگرفت و تقریباً تمام دانه‌ها، از روی دیسک گردان به بیرون پرتاب شدند. دلیل کاهش قدرت تفکیک‌پذیری در این روش را می‌توان در شکل هندسی دانه‌ها و نحوه تماس آن‌ها با سطح جستجو نمود. اما به صورت تجربی با تغییر سرعت موتور و تغییر فاصله سقوط بذر نتایج بهتری به دست آمد. ماتریس درهم ریختگی برای فاصله ۲/۷ سانتیمتر و سرعت ۱۳۴ دور بر دقیقه در شکل (۱۳) نشان داده شده است. ماتریس درهم ریختگی برای سرعت ۸۹ دور بر دقیقه در فاصله ۵/۷ سانتیمتر در شکل (۱۳) ارائه شده است.

الکترواستاتیکی بیشتر می‌باشد. از لحاظ درصد خطای تفکیک نمودن دانه‌ها نیز روش الکترواستاتیکی بیشترین خطا را در تفکیک دانه‌ها دارد.

جداسازی به کمک سرعت حد می‌باشد که از لحاظ مدت زمان مورد نیاز جهت تفکیک دانه‌ها با روش الکترواستاتیکی برابر می‌باشد. دقت این روش از تصویربرداری گرمایی کمتر و از روش

۴۱	۱۴
۸	۷

تعداد تشخیص مغزدار تعداد تشخیص پوک

(ب)

۵۳	۲
۰	۱۵

تعداد تشخیص مغزدار تعداد تشخیص پوک

(ت)

۵۳	۲
۸	۷

تعداد تشخیص مغزدار تعداد تشخیص پوک

(ث)

۵۳	۲
۷	۸

تعداد تشخیص مغزدار تعداد تشخیص پوک

(الف)

۵۱	۴
۲	۱۳

تعداد تشخیص مغزدار تعداد تشخیص پوک

(پ)

تعداد مغزدار

تعداد پوک

شکل ۱۳- ماتریس درهم ریختگی روش الکترواستاتیکی در سرعت‌های الف) ۱۳۴ دور بر دقیقه ب) ۱۲۲ دور بر دقیقه پ) ۱۱۱ دور بر دقیقه ت) ۱۰۰ دور بر دقیقه ث) ۸۸ دور بر دقیقه

مشخصات فیزیکی دانه‌ها مورد بررسی قرار گرفت. مبنای این سه روش بر پایه‌های اختلاف بین ظرفیت گرمایی، سرعت حد و مشخصات اصطکاکی دانه‌های پوک و مغزدار پایه‌گذاری شد. در میان این سه روش از لحاظ دقت و کیفیت جداسازی دانه بر اساس ظرفیت گرمایی بالاترین دقت را به خود اختصاص داده است. اما این روش به دلیل نیازمندی به تجهیزات پردازش تصویر و دوربین گرمایی روشی هزینه بر محسوب می‌گردد. سازکار جداسازی بر اساس سرعت حد یک روش میانه در روش‌های جداسازی محسوب می‌شود. زیرا این روش به دلیل مکانیکی و ساده بودن، از لحاظ اقتصادی روش مناسب‌تری نسبت به روش جداسازی برپایه ظرفیت گرمایی به حساب می‌آید. همچنین به دلیل عدم بررسی ویژگی هر دانه به صورت جداگانه، دقت تا حدودی افت داشته است. روش سوم از لحاظ تجهیزات مورد نیاز به کمترین هزینه و تجهیزات نیاز دارد. اما از لحاظ دقت، دقت مطلوبی ندارد. در نهایت می‌توان با توجه به هزینه و امکانات موجود یکی از سه روش فوق را برای جداسازی دانه پوک از مغزدار برگزید.

هیچگونه تعارض منافع بین نویسندگان وجود ندارد.

البته باید توجه نمود نتایج به دست آمده در صورت به کارگیری در مقیاس بزرگتر و صنعتی دست خوش تغییر می‌گردند. در روش تصویربرداری حرارتی، قطعاً حرکت دانه‌ها به صورت توده‌ای موجب ازدیاد خطا می‌گردد و ممکن است دانه‌ای پوک از دید دوربین مخفی مانده و پاکسازی نگردد. به این منظور باید از به کارگیری بستر مناسب جهت انتقال مناسب دانه‌ها و جلوگیری از انباشته شدن دانه‌ها بر روی یکدیگر اطمینان حاصل نمود. همچنین حرکت توده‌ای دانه‌ها در روش‌های پاکسازی به کمک سرعت حد و نیروی الکترواستاتیکی نیز تاثیر منفی خواهد گذاشت. زیرا ممکن است حین روند پاکسازی دانه‌ها به یکدیگر برخورد نموده و از مسیر یا طبقه مورد نظر، منحرف گردند که در نهایت موجب ازدیاد خطای پاکسازی در این روش‌ها نیز می‌شود. همچنین در روش الکترواستاتیکی به دلیل اهمیت برقراری اصطکاک دانه‌ها و صفحه چرخان دبی تغذیه همواره نسبت به روش‌های فوق محدودتر است.

نتیجه‌گیری کلی

در پژوهش حاضر به منظور بررسی کیفیت روش‌های جداسازی دانه‌های پوک از مغزدار کدو، ۳ روش جداسازی بر پایه‌ی

REFERENCES

- Abdel-Salam, M., Ahmed, A., & El-Kishky, H. (2004). Seeds sorting by electrostatic separation: An experimental study. In: *17th Annual Meeting of the IEEE Lasers and Electro-Optics Society*.
Agbetoye, L. A. S. (2004). A Pedal-Operated Cowpea

Winner for Small and Medium Scale Farmers. *Bulletin of Science Association of Nigeria* Vol, 25, 261-265.

Al hosseini, A., Tavakoli por, H., Jafari, S.M., & Ghods vali, A. (2011). Investigation of physical

- properties of two pea cultivars. *Journal of innovation Food Science and Technology*. (In Farsi)
- Baldwin, H. I. (1932). Alcohol separation of empty seed, and its effect on the germination of red spruce. *American Journal of Botany*, 1-11.
- Barthel, C. N. (2011). Determination of vegetable consumption and factors that affect intake in a rural community. Ph.D. dissertation University of Wisconsin-Stout.
- Basiry, M., & Esehaghbeygi, A. (2012). Cleaning and charging of seeds with an electrostatic separator. *Applied Engineering in Agriculture*, 28(1), 143-147.
- Chavoshgoli, E., Abdollahpour, S., Abdi, R., & Babaie, A. (2014). Aerodynamic and some physical properties of sunflower seeds as affected by moisture content. *Agric Eng Int: CIGR Journal*, 16(2), 136-142.
- Dascalescu, L., Dragan, C., Bilici, M., Beleca, R., Hemery, Y., & Rouau, X. (2010). Electrostatic basis for separation of wheat bran tissues. *IEEE Transactions on Industry Applications*, 46(2), 659-665.
- Digikala. (2021). *Digital and accurate measurement tools*. Retrieved March 8, 2021, from <https://www.digikala.com>
- Doshvarpassand, S., Wu, C., & Wang, X. (2019). An overview of corrosion defect characterization using active infrared thermography. *Infrared Physics and Technology*, 96, 366-389.
- ElMasry, G., ElGamal, R., Mandour, N., Gou, P., Al-Rejaie, S., Belin, E., & Rousseau, D. (2020). Emerging thermal imaging techniques for seed quality evaluation: principles and applications. *Food Research International*, 109025.
- EShop. (2021). *Temperature and humidity modules*. Retrieved March 8, 2021, from <https://www.eshop.eca.ir>
- Gagliardi, B., & Marcos-Filho, J. (2011). Relationship between germination and bell pepper seed structure assessed by the X-ray test. *Scientia Agricola*, 68(4), 411-416.
- Granitto, P. M., Garralda, P. A., Verdes, P. F., & Ceccatto, H. A. (2002). Boosting classifiers for weed seeds identification. In *VIII Congreso Argentino de Ciencias de la Computación*.
- Guo, S., Kan, Z., Zhang, R., Guo, W., An, H., & Cong, T. (2011). Separation test of electrostatic separating device for machine-harvested seed cotton and plastic film residue. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 27(1), 6-10.
- Hajalioghli, Z., & Moghaddam, P. A. (2019). Detection and classification of bruises on 'Red Delicious' apples using active thermography. (In Farsi)
- Han, X. Z., Wang, K. J., Yuan, Y., Chen, C., & Liang, L. (2014). Research on grading detection of the wheat seeds. *The Scientific World Journal*.
- Jahanbakhshi, A., Yeganeh, R., & Akhondpamchi, A. (2016). Determination of physical, mechanical and hydrodynamic properties of artichoke. *Journal of Food Processing and Preservation*. (In Farsi)
- Jamil, N., & Bejo, S. K. (2014). Husk detection using thermal imaging technology. *Agriculture and Agricultural Science Procedia*, 2, 128-135.
- Jamil, N., Sembok, T. M. T., & Bakar, Z. A. (2008). Noise removal and enhancement of binary images using morphological operations. In: *2008 International Symposium on Information Technology* (Vol. 4). (pp. 1-6). IEEE
- Joshi, D. C., Das, S. K., & Mukherjee, R. K. (1993). Physical properties of pumpkin seeds. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 54(3), 219-229.
- Khodabakhshian, R., Emadi, B., Khojastehpour, M., & Golzarian, M. R. (2018). Aerodynamic separation and cleaning of pomegranate arils from rind and white segments (locular septa). *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 17(1), 61-68.
- McCormack, J. H. (2004). Seed processing and storage: principles and practices of seed harvesting, processing, and storage: an organic seed production manual for seed growers in the Mid-Atlantic and Southern US. McCormack.
- McLemore, B. F. (1965). Pentane flotation for separating full and empty longleaf pine seeds. *Journal of Forest Science*.
- Men, S., Yan, L., Liu, J., Qian, H., & Luo, Q. (2017). A classification method for seed viability assessment with infrared thermography. *Sensors*, 17(4), 845.
- Mohsenin, N.N. (1974) *Physical properties of plant and animal materials*. New York: Gordon and Breach Science Publishers.
- Patel, S. (2013). Pumpkin (*Cucurbita* sp.) seeds as nutraceutical: a review on status quo and scopes. *Mediterranean Journal of Nutrition and Metabolism*, 6(3), 183-189.
- Salimi, Z., & Boelt, B. (2019). Classification of processing damage in sugar beet (*Beta vulgaris*) seeds by multispectral image analysis. *Sensors*, 19(10), 2360.
- Sharma, P., Kaur, G., Kehinde, B. A., Chhikara, N., Panghal, A., & Kaur, H. (2020). Pharmacological and biomedical uses of extracts of pumpkin and its relatives and applications in the food industry: a review. *International Journal of Vegetable Science*, 26(1), 79-95.
- Siano, F., Straccia, M. C., Paolucci, M., Fasulo, G., Boscaino, F., & Volpe, M. G. (2016). Physico-chemical properties and fatty acid composition of pomegranate, cherry and pumpkin seed oils. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 96(5), 1730-1735.
- Simonyan, J. K., & Yiljep, D. Y. (2008). Investigating grain separation and cleaning efficiency distribution of a conventional stationary rasp-bar sorghum thresher. *Agricultural Engineering International: CIGR Journal*.
- Squillace, A. E. (1955). Variation in cone properties, seed yield, and seed weight in western white pine

- when pollination is controlled. Graduate Student Theses University of Montana
- Stevenson, D. G., Eller, F. J., Wang, L., Jane, J. L., Wang, T., & Inglett, G. E. (2007). Oil and tocopherol content and composition of pumpkin seed oil in 12 cultivars. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 55(10), 4005-4013.
- Tahmasebi, M., & Hashemi, S.J. (2014). Study the effect of moisture and cultivar on seed terminal velocity in Modified Iranian Rice Cultivars. In: *22nd International Congress on Food Technology*. (In Farsi)
- Tigabu, M., & Odén, P. C. (2004). Simultaneous detection of filled, empty and insect-infested seeds of three Larix species with single seed near-infrared transmittance spectroscopy. *New Forests*, 27(1), 39-53.
- Yadav, B. G. (2000). Sorting of viable seeds in electrostatic field. *Aspects of Applied Biology*, (61), 297-304.