

مقاله پژوهشی

تعیین درصد شکستگی و تعداد بذرهای ذرت و لوبیاچیتی با استفاده از یک سامانه بینایی ماشین

محمد شاکر

دانشیار پژوهش بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان فارس، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، شیراز، ایران
تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۶/۱۱؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۸/۱۳

چکیده

در آزمون خلوص بذر، می‌توان از بینایی ماشین به‌عنوان جایگزین مناسبی برای بینایی انسان استفاده کرد. در این تحقیق از یک سامانه بینایی ماشین استفاده و برای بذرهای ذرت و لوبیاچیتی ارزیابی شد. برای هر نوع بذر، عملکرد دستگاه مکش با سه صفحه بذر (با قطر سوراخ‌های ۱، ۱/۵ و ۲ میلی‌متر) و چهار مقدار مکش (۸۰، ۱۰۰، ۱۲۰ و ۱۳۰ میلی‌متر جیوه) ارزیابی شد. در هر مقدار مکش، تعداد کل بذرهای چسبیده به صفحه بذر، تعداد بذرهای جدا شده و تعداد بذرهای به‌هم چسبیده روی هر سوراخ شمارش و درصد آن‌ها محاسبه شد. پس از آن، برای دو نوع بذر مورد آزمایش الگوریتم تعیین درصد شکستگی و تعداد بذر کد نویسی و اعتبارسنجی الگوریتم در ۳۰ تکرار ارزیابی گردید. نتایج نشان داد که برای بذر ذرت، تیمار ۱۰ (صفحه بذر با سوراخ‌های ۲ میلی‌متر و مقدار مکش ۱۰۰ میلی‌متر جیوه) و برای بذر لوبیاچیتی، تیمار ۱۱ (صفحه بذر با سوراخ‌های ۲ میلی‌متر و مقدار مکش ۱۲۰ میلی‌متر جیوه) مناسب‌ترین تیمار است. نتایج اعتبارسنجی الگوریتم، برای بذر ذرت نشان داد که میانگین دقت الگوریتم برابر با ۱۰۰ درصد است. برای بذر لوبیاچیتی، نتایج اعتبارسنجی الگوریتم نشان داد که میانگین دقت الگوریتم در تعیین درصد شکستگی و تعداد بذر به‌ترتیب برابر با ۹۵/۲۷ و ۹۹/۴۷ درصد است. پیشنهاد می‌شود که از این سامانه برای اندازه‌گیری خصوصیات فیزیکی بذر با اندازه‌های مختلف استفاده شود و مورد ارزیابی قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی

آزمون خلوص بذر، پردازش تصویر، تلفات بذر، یادگیری ماشین

مقدمه

بذر برای آزمون‌های آزمایشگاهی و برجسب‌زنی است. بهره‌گیری از روش دقیق و سریع تشخیص ارقام مختلف، تعداد بذرهای شکسته و ناخالصی، مطابق با استاندارد اصول و مقررات کنترل و گواهی بذر، می‌تواند در جلوگیری از ضرر فراوان این اختلاط نقش مؤثری داشته باشد (Ghaderifar & Soltani, 2010).

مصرف بذر گواهی شده نقش اساسی در افزایش کمی و کیفی محصولات کشاورزی دارد و یکی از جنبه‌های مهم علوم کشاورزی محسوب می‌شود. دستیابی به کیفیت مطلوب بذر، هدف اصلی هر برنامه موفق کنترل و گواهی بذر است. آخرین مرحله تایید و گواهی بذر، نمونه‌برداری از محموله

کدنویسی و ارزیابی شد. نتایج ارزیابی الگوریتم نشان داد که دقت آن برای تعیین درصد شکستگی برنج برابر با ۹۱/۸۱ درصد است (Shaker et al., 2015).

یک سامانه بینایی ماشین برای تعیین درصد ناخالصی، درصد شکستگی و تعداد بذر گندم ساخته و برای دو رقم گندم ارزیابی شد. این سامانه از سه بخش جعبه مکش، جعبه نمونه‌برداری و جعبه تصویربرداری تشکیل شده است. در هر دو نوع گندم، عملکرد دستگاه مکش، با دو صفحه بذر و چهار مقدار مکش بررسی گردید. نتایج این تحقیق نشان داد که مناسب‌ترین تیمار برای گندم رقم ترابی و رقم آذر، صفحه بذر با سوراخ ۱ میلی‌متر و به‌ترتیب مکش‌های ۱۰۰- و ۱۲۰- میلی‌متر جیوه است. نتایج اعتبارسنجی الگوریتم نشان داد که دقت آن نزدیک به ۱۰۰ درصد است. نتایج بررسی اقتصادی نیز نشان داد که اتخاذ تصمیم در مورد جایگزینی سامانه بینایی ماشین با روش معمول از نظر هزینه‌ها دارای توجیه اقتصادی است (Shaker et al., 2022).

در تحقیقی، یک سامانه بینایی ماشین برای بذرهای سورگوم، پنبه و جو مورد بررسی قرار گرفت. در این تحقیق، عملکرد دستگاه مکش با سه صفحه بذر و چهار مقدار مکش ارزیابی شد. پس از آن، برای سه نوع بذر مورد آزمایش الگوریتم تعیین درصد شکستگی و تعداد بذر کدنویسی و اعتبارسنجی الگوریتم در ۳۰ تکرار ارزیابی گردید. نتایج اعتبارسنجی الگوریتم تعیین درصد شکستگی و تعداد بذر برای سه نوع بذر مورد ارزیابی نشان داد که میانگین صحت الگوریتم برابر با ۱۰۰ درصد بود (Shaker & Jokar, 2023).

کاربردهای زیادی برای پردازش تصویر یا سامانه‌های بینایی کامپیوتری به منظور ارزیابی کیفیت محصولات کشاورزی وجود دارد. در تحقیقی،

آزمون‌های مختلف روی بذر عبارت‌اند از: آزمون جوانه‌زنی استاندارد (برای تعیین میانگین درصد بذر دارای قابلیت جوانه‌زنی)، آزمون خلوص بذر و شناسایی بذر ارقام دیگر (برای تعیین درصد ناخالصی‌های فیزیکی، بذر شکسته و دیگر ارقام)، آزمون‌های سلامت بذر (برای تعیین میزان آلودگی به بیماری‌های بذر، شناخته شده در استاندارد ملی بذر)، آزمون بنیه بذر (برای تعیین تعداد بذرهای زنده دارای قابلیت جوانه‌زنی و فاقد آن).

در آزمون خلوص بذر، از وسایل مکانیکی (تخته کار، نور کافی، انبر، ذره‌بین، بینی‌کولار و میکروسکوپ و دستگاه دمنده) به‌منظور کاهش خستگی متخصصان بذر و افزایش کارایی آنها استفاده می‌شود. با توجه به اینکه اجزا معمولاً با چشم و دست جداسازی می‌شوند و استفاده از بینایی انسان مستلزم صرف زمان و هزینه است و همچنین به‌دلیل خستگی چشم، معیارهای متفاوت افراد و خطای دید، منجر به نتایج ارزیابی متغیر و غیراستاندارد می‌شود، بنابراین می‌توان از بینایی ماشین به جای بینایی انسان استفاده کرد. از مهم‌ترین مزایای سامانه بینایی ماشین افزایش دقت و سرعت با هزینه کم و در مجموع بازدهی بالاست، این روش می‌تواند جایگزینی برای شمارش دستی و بازرسی نمونه‌های بذر باشد. سامانه بینایی ماشین، بر اساس بررسی خودکار تصاویر و تجزیه و تحلیل آنها با روش‌های پردازش تصویر، به ارزیابی و دسته‌بندی نتایج می‌پردازد.

در پژوهشی، به‌منظور اصلاح عملکرد دستگاه پوست‌کن شلتوک و کاهش ضایعات برنج، سامانه کنترل خودکار و بینایی ماشین ساخته و آزمایش شد. در این تحقیق، الگوریتم پردازش تصویر به منظور تعیین درصد شکستگی برنج در نرم‌افزار متلب

نتایج این تحقیق نشان داد که انعکاس نور از بخش‌های خوب و معیوب سطوح دانه ذرت تقریباً ۴۰ درصد متفاوت است. دانه‌های شکسته، خردشده و ترک‌خورده با دقت نزدیک به ۱۰۰ درصد شناسایی شدند (Gunasekaran *et al.*, 1986).

یک الگوریتم پردازش تصویر برای تشخیص ترک‌های تنش در دانه‌های ذرت، با استفاده از یک سامانهٔ بینایی تجاری توسعه داده شد. در این سامانه، نور سفید با پس‌زمینهٔ مشکی و دیافراگم کوچک برای نور، بهترین شرایط مشاهده را فراهم کرد. تصاویر دانه، زمانی که با استفاده از الگوریتم توسعه‌یافته پردازش شدند، رگه‌های سفید مربوط به ترک‌های تنش را مشخص کردند. تشخیص ترک‌های تنش دوتایی، ساده‌تر از تنش‌های تکی بود (Gunasekaran *et al.*, 1987).

در تحقیقی، از تحلیل تصویر به همراه الگوی آماری برای تشخیص دانه‌های ذرت سالم از شکسته بهره‌گیری شد. از دوازده پارامتر توصیف‌گر شکل و اندازهٔ دانه‌های ذرت برای تشخیص فوق استفاده شد. نتایج این پژوهش نشان داد که با به‌کارگیری این روش، همهٔ دانه‌های شکسته و ۹۸ درصد دانه‌های سالم در نمونه‌های مورد آزمایش به‌طور صحیح شناسایی شدند (Zayas *et al.*, 1990).

در تحقیقی دیگر، یک الگوریتم بر اساس ویژگی‌های ریخت‌شناسی به‌منظور دسته‌بندی دانه‌های گندم، جو، جو دو سر و چاودار با استفاده از بینایی ماشین تدوین شد. در این پژوهش ۲۳ ویژگی ریخت‌شناسی برای تشخیص به‌کار گرفته شد. نتایج تحقیق نشان داد که با استفاده از این روش، دقت دسته‌بندی دانه‌های گندم، جو، جو دو سر و چاودار به‌ترتیب برابر با ۹۸/۹، ۹۶/۸، ۹۹/۹ و ۸۱/۶ درصد است (Majumdar & Jayas, 2000).

یک سامانهٔ پردازش تصویر برای بررسی ترک‌های برنج قهوه‌ای (دانه کوتاه) به کار گرفته شد. نتایج این تحقیق نشان داد تصویر دانهٔ برنج ترک خورده با یک شکاف، به دو قسمت تقسیم شد. در مورد دانه با دو شکاف، تصویر پردازش شده دانهٔ ترک خورده به سه قسمت تقسیم و با رنگ‌های سفید، آبی و قرمز رنگ‌آمیزی شد. تصویر پردازش شده از دانه با سه شکاف، با رنگ‌های سفید، آبی، قرمز و سبز روشن متمایز شد. همچنین مشخص گردید ترک کوچک دانه برنج نیز قابل تشخیص است (Matshuisa & Hosokawa, 1981).

روش‌های ارزیابی کیفی دانه‌های ذرت و سویا در حال حاضر، عمدتاً دستی است. بنابراین وجود سامانهٔ ارزیابی کیفیت کاملاً خودکار، سریع و قابل اعتماد ضروری است. در گذشته، روش‌های اسپکتروفتومتری به‌طور گسترده برای تشخیص نقص در محصولات مختلف بیولوژیکی و کشاورزی استفاده می‌شدند. در تحقیقی، قوانین و تعامل نور با مواد بیولوژیکی با توجه به کاربرد آنها در ارزیابی کیفیت بررسی شد. طیف گسترده‌ای از مواد کشاورزی و بیولوژیکی مانند میوه‌ها، سبزی‌ها، بذرها، غلات، تخم‌مرغ و فرآورده‌های گوشتی در نظر گرفته شد. در این تحقیق ارزیابی نوری برای رسیدگی، دوام، آسیب خارجی، عیوب داخلی و دیگر ویژگی‌های کیفی محصول، بررسی گردید. در پایان، مناسب بودن هر روش برای نشان دادن موفقیت آمیز نمونه‌های معیوب گزارش شد (Gunasekaran *et al.*, 1985).

یک ابزار الکترونیکی نوری برای بررسی تک تک دانه‌های ذرت و تشخیص عیوب مختلف دانه با توجه به تفاوت‌های بازتابی آنها توسعه داده شد. یک لیزر هلیوم - نئون کم توان (He-Ne) (۶۳۲/۸ نانومتر، نور قرمز) به‌عنوان منبع نور در دستگاه استفاده شد.

داده شد که الگوریتم K-mean با تعداد شناسایی ۹۳/۷۵ درصد می‌تواند به‌طور مؤثری خلوص بذر ذرت را تعیین کند (Yan et al., 2017).

جمع‌بندی نتایج تحقیقات نشان می‌دهد که با استفاده از روش پردازش تصویر می‌توان ویژگی‌های فیزیکی محصولات مختلف کشاورزی را بررسی کرد و بر اساس این خصوصیات، سامانه‌های بینایی ماشین را در رشته‌های مختلف، ساخت و به‌کار گرفت. در پروژه تحقیقاتی گذشته، سامانه بینایی ماشین برای تعیین درصد شکستگی و تعداد بذر گندم طراحی و ساخته شده بود، از این‌رو لازم شد تا این سامانه برای بذرهای با ابعاد و اندازه‌های مختلف ارزیابی شود تا نتایج کامل‌تری به‌دست آید.

هدف از اجرای این تحقیق، ارزیابی سامانه بینایی ماشین برای تعیین میزان شکستگی و تعداد بذرهای ذرت و لوبیاچیتی است. برای انتخاب نوع بذر و ضرورت این انتخاب، با کارشناسان بخش تحقیقات ثبت و گواهی بذر و نهال مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی فارس مشورت شد.

مواد و روش‌ها

در این تحقیق از یک سامانه بینایی ماشین که قبلاً توسط نویسنده مسئول ساخته شده بود، استفاده شد (Shaker et al., 2022). این سامانه از سه قسمت جعبه مکش، جعبه نمونه‌برداری و جعبه تصویربرداری تشکیل شده است که توضیحات آن به شرح زیر است (شکل ۱).

در پژوهشی، روش تجزیه و تحلیل تصویر دیجیتال برای تعیین ویژگی‌های هندسی و رنگ سطح دانه‌های کلزا و تشخیص برخی ناخالصی‌ها، که جداسازی آنها در فرآیند تمیزکردن دشوار است، استفاده شد. نتایج بررسی‌ها نشان داد که تنوع در ابعاد هندسی دانه‌ها بسیار کمتر از رنگ سطح آنهاست، بنابراین حداقل حجم نمونه مورد استفاده برای اندازه‌گیری رنگ باید بزرگتر باشد. تجزیه و تحلیل رنگ دانه‌های کلزا در مدل RGB (قرمز، سبز و آبی)، تفاوت‌های مشخصی را نشان داد که امکان تمایز بین این دانه‌ها را فراهم می‌کرد. همچنین مشخص شد که رنگ سطح دانه‌های رسیده، نارس و شکسته را نمی‌توان برای تشخیص این بخش‌ها استفاده کرد (Tanska et al., 2005).

در تحقیقی، با استفاده از سیستم تجزیه و تحلیل تصویر، رقم‌های بومی لوبیا را به‌منظور ارزیابی اندازه، شکل و رنگ بافت بذر و شناسایی رقم‌ها مطالعه کردند (Venora et al., 2009).

در تحقیقی دیگر مشخص شد که پردازش تصویر در آزمون‌های بذر، در تشخیص توده بذر رقم‌های مختلف و همچنین شناسایی و تمایز رقم‌های جدید به‌منظور معرفی و ثبت آن‌ها نقش مهمی دارد. این روش به‌دلیل سرعت زیاد و دقت بالا کمک شایانی به به‌زادگران در انتخاب ارقام خواهد کرد (Kapadia et al., 2017).

خلوص بذرهای چهار هیبرید ذرت بر اساس ویژگی‌های رنگ در تحقیقی تجزیه و تحلیل و نشان



شکل ۱- سامانه بینایی ماشین برای تعیین درصد شکستگی و تعداد بذر

Fig. 1- Machine vision system to determine the percentage of breakage and the number of seed

به حالت اولیه خود باز می‌گشت. در این حالت با دوران جعبه نمونه‌برداری حول محور متصل به شاسی، این جعبه در مقابل جعبه تصویربرداری قرار می‌گرفت. در این مرحله، با دوربین دیجیتال یک تصویر از صفحه بذر به صورت دستی تهیه می‌شد. پس از آن با قطع کردن مکش تولید شده، نمونه بذر در سینی دیگری ریخته می‌شد.

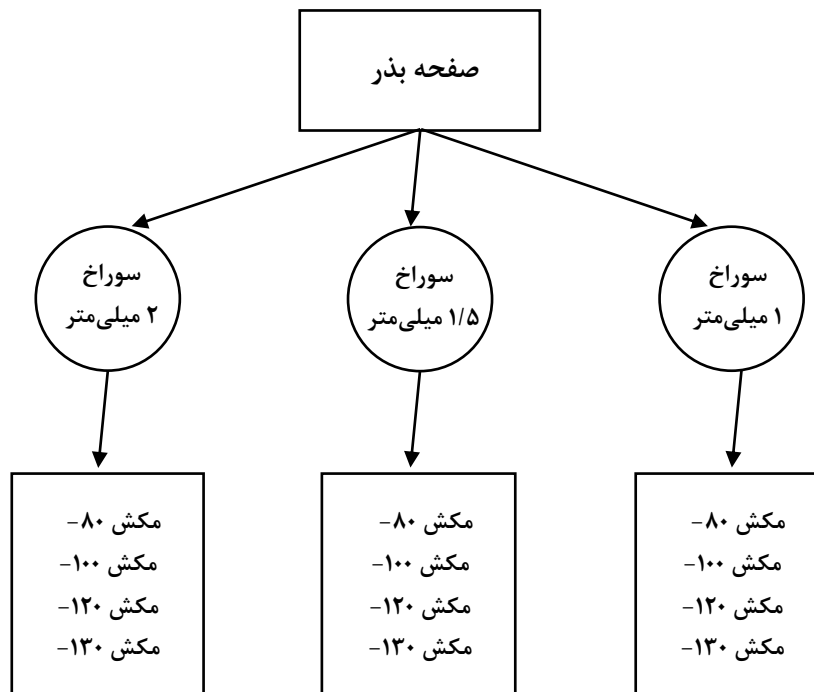
روشنایی جعبه تصویربرداری با لامپ فلورسنت تأمین می‌گردد. با برخورد نور لامپ به صفحه وسط و انعکاس آن به سمت پایین، نور به‌طور غیرمستقیم و یکنواخت روی بذرهای منعکس گردید. در بالای جعبه، یک دوربین دیجیتال (مدل Logitech - C ۱۷۰ با وضوح تصویر ۵ مگاپیکسل، ساخت چین) در ارتفاع ۳۰ سانتی‌متری نصب شد و بنابراین تصویربرداری‌ها از ارتفاعی ثابت صورت می‌گرفت و لرزش یا خطایی در تصویرها به‌وجود نمی‌آمد.

در این تحقیق، سامانه بینایی ماشین فوق برای بذرهای ذرت (رقم ۷۰۴) و لوبیاچیتی (رقم صالح) ارزیابی گردید. نوع بذر با مشورت کارشناسان بخش تحقیقات ثبت و گواهی بذر و نهال مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی فارس انتخاب شد.

از یک الکتروموتور با فن مکشی و یک مقاومت متغیر برای تنظیم سرعت دورانی آن در جعبه مکش استفاده شد. برای تنظیم زمان قطع شدن مکش در جعبه از یک تایمر استفاده گردید. مقدار مکش تولیدی از ۵۰ تا ۱۶۰ میلی‌متر جیوه قابل تنظیم بود. از یک جعبه با چهارچوب چوبی و سه صفحه بذر فلزی برای نمونه‌برداری استفاده شد. روی صفحه بذر به فاصله‌های ۱۵ میلی‌متر، سوراخ‌هایی به قطر ۱، ۱/۵ و ۲ میلی‌متر ایجاد گردید. جعبه نمونه‌برداری با استفاده از دو فنر کششی و اتصالات آن به شاسی متصل بود. بر اساس مکانیزم به‌کار برده شده، تمام حرکات جعبه نمونه‌برداری محدود شد و فقط دو حرکت عمودی و دورانی حول محور متصل به شاسی برای آن ایجاد گردید. دو جعبه مکش و نمونه‌برداری با یک لوله خرطومی قابل انعطاف به یکدیگر متصل بودند.

با فشار دادن جعبه به سمت پایین روی سینی بذر و نگاه داشتن آن به مدت ۲ تا ۳ ثانیه، نمونه‌ای از بذر گرفته شد (در اثر نیروی مکش، بذرها روی سوراخ‌های صفحه بذر می‌چسبیدند). پس از آن با برداشتن فشار و با نیروی فنرهای تعبیه شده، جعبه

برای هر نوع بذر، عملکرد دستگاه مکش با سه صفحه بذر (با قطر سوراخ‌های ۱، ۱/۵ و ۲ میلی‌متر) و چهار مقدار مکش (۸۰، ۱۰۰، ۱۲۰ و ۱۳۰- میلی‌متر جیوه) ارزیابی شد. در شکل ۲ بلوک دیاگرام معرفی تیمارهای مورد ارزیابی (۱۲ تیمار) ارائه شده است.



شکل ۲- بلوک دیاگرام معرفی تیمارهای مورد ارزیابی

Fig. 2- Block diagram introducing the treatments being evaluated

تعداد بذرهای به‌هم چسبیده روی هر سوراخ، شمرده و درصد آن‌ها محاسبه شد. برای هر نوع بذر مورد ارزیابی، مناسب‌ترین مقدار مکش و نوع صفحه بذر با معیارهای زیر انتخاب شد:

۱- میانگین تعداد کل بذرهای چسبیده به صفحه بذر حداقل ۸۰ بذر باشد.

۲- بیشترین درصد بذرهای جدا شده و کمترین درصد بذرهای به‌هم چسبیده را شامل شود.

۳- به‌منظور اعمال فشار کمتر روی موتور دستگاه، مقدار مکش کمتر را داشته باشد.

تصویر تهیه شده با دوربین دیجیتال به محیط نرم‌افزار MATLAB منتقل و با استفاده از روش‌های

از آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با دو فاکتور و پنج تکرار، برای آنالیز آماری داده‌ها و از آزمون دانکن برای مقایسه بین میانگین‌ها استفاده شد. در ابتدا داده‌های مربوط به بذرهای جدا شده و بذرهای به‌هم چسبیده ذرت و لوبیاجیتی، با آزمون نرمالیت‌بررسی شدند و مشخص شد داده‌های مربوط به دو بذر مورد ارزیابی نرمال نیستند. بنابراین آنالیز غیر پارامتری کراسکل والیس به‌کار گرفته شد (Corder Gregory & Foreman Dale, 2009). پس از آن مقایسه بین میانگین‌ها صورت گرفت.

در هر مقدار مکش، تعداد کل بذرهای چسبیده به صفحه بذر، تعداد بذرهای جدا شده از یکدیگر و

سه چهارم یک بذر کامل بود، به عنوان بذر شکسته در نظر گرفته شد (Farouk & Islam, 1995).

برای اعتبارسنجی الگوریتم تعیین درصد شکستگی و تعداد بذر و تعیین دقت آن، به طور تصادفی ۳۰ نمونه از توده بذر (از ۱ تا ۳۰ درصد شکستگی به عنوان ۳۰ تکرار) انتخاب و در هر نمونه تعداد واقعی و درصد شکستگی بذر، به صورت چشمی و با دست جدا (به عنوان روش رایج) و محاسبه شد. با تصویربرداری از همان نمونه و اجرای الگوریتم، درصد شکستگی و تعداد بذر تعیین و با تعداد واقعی مقایسه شد. پس از آن، دقت الگوریتم بر حسب درصد محاسبه شد. از آزمون مقایسه‌ای تی برای مقایسه آماری داده‌ها استفاده شد. اعتبارسنجی الگوریتم برای دو بذر مورد ارزیابی به طور جداگانه صورت گرفت.

نتایج و بحث

نتایج ارزیابی دستگاه تک‌ساز برای بذرهای مورد ارزیابی

آنالیز غیر پارامتری کراسکل والیس درصد بذرهای جدا شده و بذرهای به هم چسبیده ذرت روی صفحه بذر در جدول ۱ ارائه شده است. نتایج این جدول نشان می‌دهد که اثر تیمارهای مورد ارزیابی بر درصد بذرهای جدا شده و بذرهای به هم چسبیده در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار است.

پردازش تصویر و توابع موجود در نرم‌افزار، برای هر نوع بذر مورد آزمایش الگوریتم تعیین درصد شکستگی و تعداد بذر کد نویسی و ارائه شد. به طور کلی، برای کد نویسی الگوریتم پردازش تصویر از ویژگی‌های شکل، رنگ و بافت اشیا استفاده می‌شود. این الگوریتم با استفاده از ویژگی‌های شکل بذر (مساحت) و در فضای سیاه و سفید (باینری) تهیه شد.

ابتدا برای تعیین مساحت بذر، ۳۰ بذر سالم روی یک صفحه سفید با فاصله از یکدیگر چیده شد. مساحت آنها با استفاده از الگوریتمی که به همین منظور کد نویسی شد، بر حسب تعداد پیکسل به دست آمد و میانگین آنها برای دو بذر مورد ارزیابی، به طور جداگانه محاسبه شد.

برای کد نویسی الگوریتم تعیین درصد شکستگی و تعداد بذر، ابتدا تصویر رنگی به تصویر باینری تبدیل شد. پس از آن تعداد کل بذرهای موجود در تصویر (مجموع بذرهای سالم و شکسته) شمارش شد. سپس با آستانه‌گذاری مناسب (با استفاده از میانگین مساحت یک بذر سالم)، بذرهای شکسته حذف گردید و تعداد بذرهای سالم موجود در تصویر شمارش شد. سپس با محاسبه تعداد بذرهای شکسته و داشتن تعداد کل بذرها، درصد شکستگی بذر محاسبه گردید. بذرهایی که اندازه سطح آنها (تعداد پیکسل‌های موجود در سطح بذر) کوچکتر از

جدول ۱- آنالیز غیر پارامتری کراسکل والیس درصد بذره‌های جدا شده و بذره‌های به هم چسبیده ذرت

Table 1- Kraskel-Wallis non-parametric analysis of the percentage of separated and stuck together corn seeds

منابع تغییر	بذره‌های جدا شده (درصد)	بذره‌های به هم چسبیده (درصد)
Sources of change	Separated seeds (%)	Seeds stuck together (%)
آماره کراسکل والیس	42.99	42.99
Kraskel-Wallis statistic		
درجه آزادی	11	11
Degrees of freedom		
معنی‌داری P	0.00 **	0.00 **
Significance of P		

** معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد

** Significant at 1% probability level

به اینکه مقدار مکش در تیمار ۱۰ (۱۰۰- میلی‌متر جیوه) کمتر از مقدار مکش در تیمار ۸ (۱۳۰- میلی‌متر جیوه) بود و فشار کمتری به موتور دستگاه وارد می‌شد، تیمار ۱۰ (صفحه بذر با سوراخ‌های ۲ میلی‌متر و مقدار مکش ۱۰۰- میلی‌متر جیوه) با درصد بذره‌های جدا شده به مقدار ۹۶/۰۵ درصد و درصد بذره‌های به هم چسبیده به مقدار ۳/۹۵ درصد برای بذر ذرت انتخاب شد.

آنالیز غیر پارامتری کراسکل والیس درصد بذره‌های جدا شده و بذره‌های به هم چسبیده روی صفحه بذر مربوط به بذره‌های لوبیاچیتی، در جدول ۳ ارائه شده است. نتایج این جدول نشان می‌دهد که اثر تیمارهای مورد ارزیابی بر درصد بذره‌های جدا شده و بذره‌های به هم چسبیده در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار است.

مقایسه میانگین‌های درصد بذره‌های جدا شده و بذره‌های به هم چسبیده ذرت در اثر تیمارهای مورد ارزیابی در جدول ۲ ارائه شده است. نتایج جدول ۲ حاکی از آن است که بیشترین درصد بذره‌های جدا شده و کمترین درصد بذره‌های به هم چسبیده در شش تیمار اول و تیمار ۹ اتفاق افتاده است و چون در یک گروه آماری قرار دارند، بنابراین اختلاف معنی‌داری بین آنها وجود ندارد. تعداد کل بذره‌های چسبیده به صفحه بذر در شش تیمار اول، حداقل و حداکثر ۱۰ و ۴۰ بذر و در تیمار ۹ حدود ۶۵ بذر است و تعداد مناسبی نیستند، از این‌رو این هفت تیمار انتخاب نشدند. بین تیمارهای ۷، ۸ و ۱۰ که در یک گروه آماری قرار دارند، تیمارهای ۸ و ۱۰ از نظر میانگین تعداد کل بذره‌های چسبیده به صفحه بذر (حدود ۸۰ بذر) در حد مناسبی بودند. با توجه

جدول ۲- مقایسه میانگین‌های درصد بذره‌های جدا شده و بذره‌های به هم چسبیده ذرت در اثر تیمارهای مورد ارزیابی

Table 2- Means comparison of the percentages of separated and stuck together corn seeds due to the evaluated treatments

بذره‌های به هم چسبیده (درصد) Seeds stuck together (%)	بذره‌های جدا شده (درصد) Separated seeds (%)	تیمار Treatment
0.00 ^d	100 ^a	1
0.00 ^d	100 ^a	2
0.00 ^d	100 ^a	3
0.00 ^d	100 ^a	4
0.00 ^d	100 ^a	5
0.00 ^d	100 ^a	6
2.30 ^c	97.70 ^b	7
2.92 ^{bc}	97.08 ^{bc}	8
0.57 ^d	99.43 ^a	9
3.95 ^c	96.05 ^b	10
5.46 ^{ab}	94.54 ^{cd}	11
9.20 ^a	90.80 ^d	12

حروف مشابه در هر ستون نشان‌دهنده نبود اختلاف معنی‌دار است.

Similar letters in each column indicate the absence of significant differences.

جدول ۳- آنالیز غیر پارامتری کراسکل والیس درصد بذره‌های جدا شده و بذره‌های به هم چسبیده لوبیاچیتی

Table 3- Kraskel-Wallis non-parametric analysis of the percentage of separated and stuck together pinto bean seeds

بذره‌های به هم چسبیده (درصد) Seeds stuck together (%)	بذره‌های جدا شده (درصد) Separated seeds (%)	منابع تغییر Sources of change
29.17	29.17	آماره کراسکل والیس Kraskel-Wallis statistic
11	11	درجه آزادی Degrees of freedom
0.002 ^{**}	0.002 ^{**}	معنی‌داری P Significance of P

^{**} معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد^{**} Significant at 1% probability level

۱۰ تیمار انتخاب نشدند. در تیمارهای ۱۱ و ۱۲ که در یک گروه آماری قرار دارند، تعداد کل بذره‌های چسبیده به صفحه بذر (حداقل و حداکثر ۸۰ و ۹۰ بذر) در حد مناسبی بودند. با توجه به اینکه مقدار مکش در تیمار ۱۱ (۱۲۰- میلی‌متر جیوه) کمتر از تیمار ۱۲ (۱۳۰- میلی‌متر جیوه) بود و فشار کمتری به موتور دستگاه وارد می‌شد، این تیمار (صفحه بذر با سوراخ‌های ۲ میلی‌متر و مقدار مکش ۱۲۰- میلی‌متر جیوه) با بذره‌های جدا شده به مقدار ۹۸/۲۰ درصد و بذره‌های به هم چسبیده به مقدار ۱/۸۰ درصد برای بذر لوبیاچیتی انتخاب شد.

مقایسه میانگین‌های درصد بذره‌های جدا شده و بذره‌های به هم چسبیده لوبیاچیتی در اثر تیمارهای مورد ارزیابی در جدول ۴ ارائه شده است. نتایج این جدول نشان می‌دهد بیشترین درصد بذره‌های جدا شده و کمترین درصد بذره‌های به هم چسبیده، در تیمارهای ۱ تا ۱۰ واقع شده است و چون در یک گروه آماری قرار دارند، بنابراین اختلاف معنی‌داری بین آنها وجود ندارد. تعداد کل بذره‌های چسبیده به صفحه بذر در شش تیمار اول، حداقل و حداکثر ۶ و ۲۶ بذر و در تیمارهای ۷ تا ۱۰ حداقل و حداکثر ۴۵ و ۷۰ بذر بود که تعداد مناسبی نبودند، لذا این

الگوریتم‌های تعیین مساحت بذر و تعیین درصد به کار گرفته شد. نتایج میانگین مساحت بذرهای شکستگی و تعداد بذر
مورد ارزیابی (۳۰ تکرار) در جدول ۵ ارائه شده
الگوریتم تعیین مساحت بذر به شرح زیر است.

1. P=imread('1.jpg'); % color image (RGB)
2. M=im2bw(P,graythresh(P)); % binary image
3. D=bwareaopen(M,100); % to remove dust and small particles
4. [x,G]=bwlabel(D); % G is number of seeds
5. for i=1:30;
6. Data1=regionprops(G,'Area'); % calculation of seed area
7. A=Data1(i);
8. i
9. A
10. end

جدول ۴- مقایسه میانگین‌های درصد بذرهای جدا شده و بذرهای به هم چسبیده لوبیاجیتی در تیمارهای مورد ارزیابی

Table 4- Means comparison of the percentages of separated and stuck together pinto bean seeds due to the evaluated treatments

بذرهای جدا شده (درصد)	بذرهای به هم چسبیده (درصد)	تیمار
Separated seeds (%)	Seeds stuck together (%)	Treatment
100 ^a	0.00 ^b	1
100 ^a	0.00 ^b	2
100 ^a	0.00 ^b	3
99.33 ^a	1.67 ^b	4
100 ^a	0.00 ^b	5
100 ^a	0.00 ^b	6
100 ^a	0.00 ^b	7
100 ^a	0.00 ^b	8
100 ^a	0.00 ^b	9
99.47 ^a	0.53 ^b	10
98.20 ^b	1.80 ^a	11
98.18 ^b	1.82 ^a	12

حروف مشابه در هر ستون نشان‌دهنده نبود اختلاف معنی‌دار است.

Similar letters in each column indicate the absence of significant differences.

جدول ۵- نتایج میانگین مساحت بذرهای مورد ارزیابی بر حسب تعداد پیکسل

Table 5- Results of the area mean of the evaluated seeds in terms of the number of pixels

نوع بذر	پارامتر مورد اندازه‌گیری
Seed type	Measured parameter
لوبیاجیتی	ذرت
Pinto bean	Corn
24561	27935
میانگین مساحت بذر (تعداد پیکسل) Mean seed area (number of pixel)	

الگوریتم تعیین درصد شکستگی و تعداد بذر
ذرت به شرح زیر مورد استفاده قرار گرفت. مقدار
آستانه‌گذاری برای بذر ذرت، ۵۰۰۰ و ۱۵۰۰۰
پیکسل بود که در سطرهای سوم و پنجم الگوریتم
استفاده شد. برای بذر لوبیاجیتی نیز همین الگوریتم
به کار برده شد و فقط مقدار آستانه‌گذاری برای بذر
لوبیاجیتی متفاوت بود که به تناسب میانگین
مساحت آن بذر، این مقدار به دست آمد و استفاده
شد. نتایج مقدار آستانه‌گذاری برای دو بذر مورد
ارزیابی در جدول ۶ ارائه شده است.

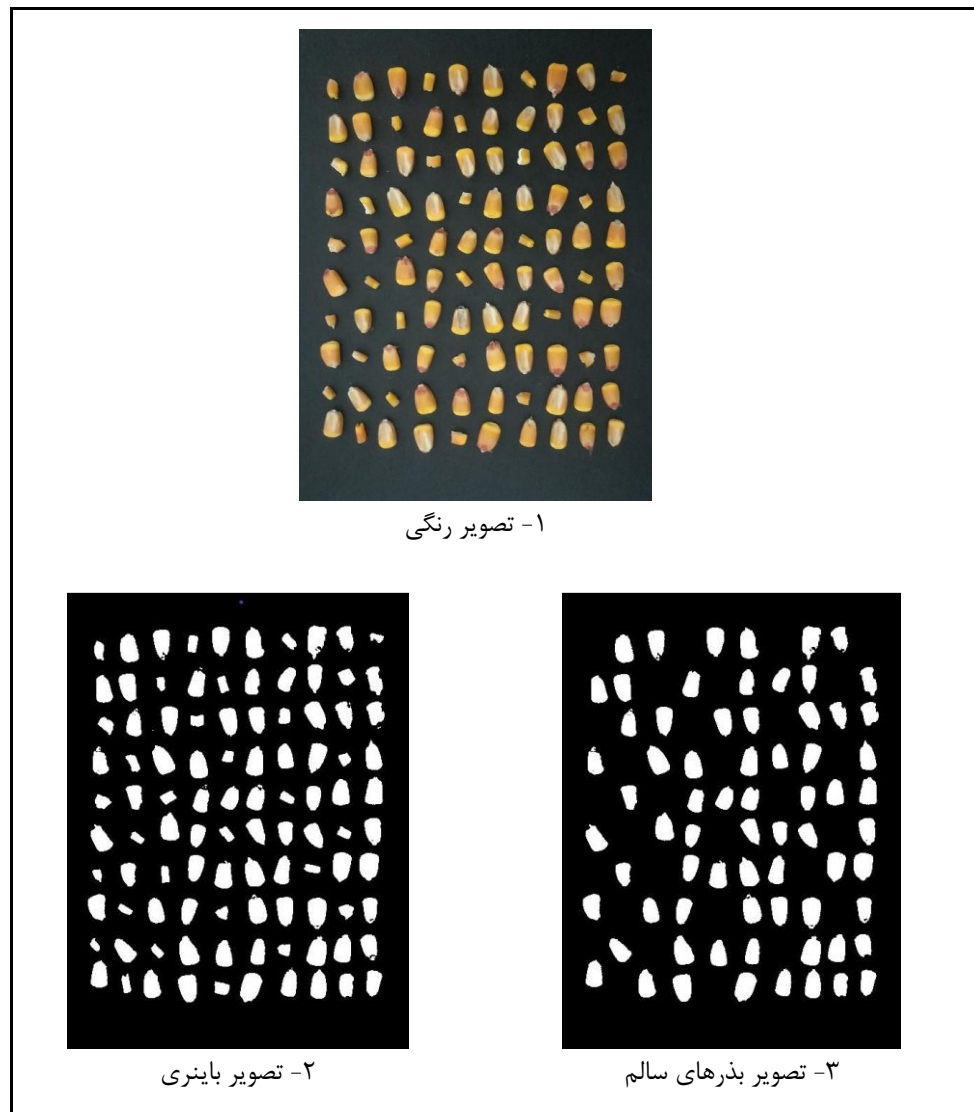
1. P=imread('1.jpg'); % Color image (RGB)
2. D=im2bw(P,graythresh(P)); % Binary image
3. W=bwareaopen(D,5000); % to remove dust and small particles
4. [x,G]=bwlabel(W); % G is number of broken and whole seeds
5. M=bwareaopen(W,15000); % to remove broken seeds
6. [y,H]=bwlabel(M); % H is number of whole seeds
7. F=(G-H); % F is the number of broken seeds
8. B=(F/G)*100 % B is percentage of broken seeds
9. H

جدول ۶- نتایج مقدار آستانه‌گذاری برای بذرهای مورد ارزیابی بر حسب تعداد پیکسل

Table 6- Threshold value results for the evaluated seeds in terms of the number of pixels

Seed type	نوع بذر	پارامتر مورد اندازه‌گیری
لوبیاجیتی	ذرت	Measured parameter
Pinto bean	Corn	
3000 and 12000	5000 and 15000	مقدار آستانه‌گذاری (تعداد پیکسل) Threshold value (number of pixel)

مراحل اجرای الگوریتم تعیین درصد
شکستگی و تعداد بذر ذرت، در شکل ۳ به عنوان
نمونه ارائه شده است. در این الگوریتم ابتدا
تصویر رنگی به سیاه و سفید یا باینری تبدیل
شد. پس از آن با برچسب‌گذاری، تعداد کل
بذرها در تصویر شمارش شد. سپس با آستانه‌گذاری
لازم (بر اساس تعداد پیکسل‌های سطح یک بذر
ذرت سالم)، تعداد بذرهای شکسته و سالم
تعیین گردید و در نهایت درصد شکستگی و تعداد
بذرهای سالم محاسبه و ارائه شد. برای بذر
لوبیاجیتی نیز مراحل اجرای الگوریتم به همین
صورت بود.



شکل ۳- مراحل مختلف اجرای الگوریتم تعیین درصد شکستگی و تعداد بذر ذرت

Fig. 3- Different stages of implementing the algorithm to determine the percentage of breakage and the number of corn seeds

نتایج اعتبارسنجی الگوریتم تعیین درصد شکستگی و تعداد بذر لوبیاچیتی، در بررسی ۳۰ تصویر تهیه شده (به‌عنوان ۳۰ تکرار) نشان داد که میانگین دقت الگوریتم در تعیین میزان شکستگی بذر برابر با ۹۵/۲۷ درصد و میانگین دقت الگوریتم در تعیین تعداد بذر برابر با ۹۹/۴۷ درصد است. دلیل خطای الگوریتم (حدود ۵ درصد) در تعیین میزان شکستگی بذر، وجود لکه‌های تیره روی

نتایج اعتبارسنجی الگوریتم تعیین درصد شکستگی و تعداد بذر

نتایج اعتبارسنجی الگوریتم تعیین درصد شکستگی و تعداد بذر برای بذر ذرت، در بررسی ۳۰ تصویر تهیه شده (از ۱ تا ۳۰ درصد شکستگی به‌عنوان ۳۰ تکرار) نشان داد که میانگین دقت الگوریتم در تعیین میزان شکستگی و تعداد بذر برابر با ۱۰۰ درصد است.

نظر آماری در سطح احتمال ۵ درصد تفاوت معنی‌داری وجود ندارد. بنابراین می‌توان به‌جای محاسبه درصد شکستگی بذر لوبیاچیتی و شمارش تعداد بذر، با تصویربرداری و به‌کارگیری الگوریتم این اعمال را به‌ترتیب با دقت ۹۵/۲۷ و ۹۹/۴۷ درصد به انجام رساند. نتایج به‌دست آمده در این تحقیق در رابطه با اعتبارسنجی الگوریتم تعیین درصد شکستگی و تعداد بذر ذرت و لوبیاچیتی، با نتایج تحقیقات قبلی نویسنده مسئول که بر روی بذره‌های گندم، جو، سورگوم و پنبه انجام شده، همخوانی دارد و نشان می‌دهد که میانگین صحت الگوریتم برابر با ۱۰۰ درصد است (Shaker et al., 2022; Shaker & Jokar, 2023).

بذر لوبیاچیتی است. این لکه‌ها باعث می‌شوند در تصویر باینری (سیاه و سفید) خطا ایجاد شود و در اجرای الگوریتم، برخی از بذره‌های سالم به‌عنوان بذر شکسته در نظر گرفته شوند.

نتایج آزمون مقایسه‌ای تی (t-Test) برای داده‌های درصد شکستگی و تعداد بذر لوبیاچیتی در دو حالت واقعی و مشاهده شده توسط الگوریتم، در جدول ۷ ارائه شده است و نشان می‌دهد بین درصد شکستگی واقعی بذر لوبیاچیتی و درصد شکستگی مشاهده شده توسط الگوریتم، از نظر آماری در سطح احتمال ۵ درصد تفاوت معنی‌داری وجود ندارد. همچنین مشخص شد که بین تعداد واقعی بذر لوبیاچیتی و تعداد مشاهده شده توسط الگوریتم، از

جدول ۷- نتایج آزمون مقایسه‌ای تی برای داده‌های درصد شکستگی و تعداد بذر لوبیاچیتی

Table 7- Results of the t-test for the data of breakage percentage and number of pinto bean seeds

تعداد بذر Number of seeds			درصد شکستگی بذر Seed breakage percentage			منابع تغییر Sources of change
معنی‌داری significant	مقدار بحرانی Critical t-value	مقدار t t-Value	معنی‌داری significant	مقدار بحرانی Critical t-value	مقدار t t-Value	
0.83 ^{ns}	2.00	-0.21	0.83 ^{ns}	2.00	-0.21	تیمار (شکستگی و تعداد واقعی و شکستگی و تعداد مشاهده شده) Treatment (actual breakage and number and observed breakage and number)

ns نبود اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد

No significant difference at the 5% probability level

نتیجه‌گیری

۲ میلی‌متر و مقدار مکش ۱۰۰- میلی‌متر جیوه) با درصد بذره‌های جدا شده به‌مقدار ۹۶/۰۵ درصد و بذره‌های به‌هم چسبیده به‌مقدار ۳/۹۵ درصد به‌عنوان مناسب‌ترین تیمار انتخاب شد. برای بذر لوبیاچیتی، تیمار ۱۱ (صفحه بذر با سوراخ‌های ۲ میلی‌متر و مقدار مکش ۱۲۰- میلی‌متر جیوه) با بذره‌های جدا شده به‌مقدار ۹۸/۲۰ درصد و بذره‌های به‌هم چسبیده

در این تحقیق کارایی یک سامانه بینایی ماشین برای تعیین درصد شکستگی و تعداد بذره‌های ذرت و لوبیاچیتی با سه صفحه بذر و چهار مقدار مکش ارزیابی شد. جمع‌بندی نتایج ارزیابی دستگاه تک‌ساز برای بذره‌های ذرت و لوبیاچیتی نشان داد که برای بذر ذرت، تیمار ۱۰ (صفحه بذر با سوراخ‌های

به مقدار ۱/۸۰ درصد مناسب‌ترین تیمار است. نتایج اعتبارسنجی الگوریتم تعیین درصد شکستگی و تعداد بذر برای بذرت نشان داد که میانگین دقت الگوریتم در تعیین میزان شکستگی و تعداد بذر برابر با ۱۰۰ درصد است. برای بذر لوبیاچیتی، نتایج اعتبارسنجی الگوریتم نشان داد که میانگین دقت الگوریتم در تعیین میزان شکستگی بذر برابر با ۹۵/۲۷ درصد و میانگین دقت الگوریتم در تعیین تعداد بذر برابر با ۹۹/۴۷ درصد است. بنابراین، می‌توان به‌جای محاسبه درصد شکستگی و شمارش تعداد دو نوع بذر مورد ارزیابی، با تصویربرداری و به‌کارگیری الگوریتم این کار را با دقت ۹۵ تا ۱۰۰ درصد به انجام رساند. پیشنهاد می‌شود که از این سامانه برای اندازه‌گیری خصوصیات فیزیکی بذر با اندازه‌های مختلف استفاده شود و مورد ارزیابی قرار گیرد.

مراجع

- Corder, G. W., Foreman, D. I., & Wiley InterScience (Online service). (2009). *Nonparametric statistics for non-statisticians a step-by-step approach*. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1002/9781118165881>.
- Farouk, S. M., & Islam, M. N. (1995). Effect of parboiling and milling parameters on breakage of rice grains. *Agricultural Mechanization in Asia, Africa and Latin America*, 26(4), 33-38.
- Ghaderifar, F., & Soltani, A. (2010). *Seed control and certification*. Publications of Mashhad University-Jahad. (in Persian)
- Gunasekaran, S., Paulsen, M. R., & Shove, G. C. (1985). Optical methods for nondestructive quality evaluation of agricultural and biological materials. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 32(2), 209-241. [https://doi.org/10.1016/0021-8634\(85\)90081-2](https://doi.org/10.1016/0021-8634(85)90081-2).
- Gunasekaran, S., Paulsen, M. R., & Shove, G. C. (1986). A laser optical method for detecting corn kernel defects. *Transactions of the ASAE*, 29(1), 294-298, 304. <https://doi.org/10.13031/2013.30142>.
- Gunasekaran, S., Cooper, T. M., Berlage, A. G., & Krishnan, P. (1987). Image processing for stress cracks in corn kernels. *Transactions of the ASAE*, 30(1), 266-271. <https://doi.org/10.13031/2013.30438>.
- Kapadia, V. N., Sasidharan, N., & Kalyanrao, P. (2017). Seed Image Analysis and Its Application in Seed Science Research. *Advances in Biotechnology and Microbiology*, 7(2), <https://doi.org/10.19080/AIBM.2017.07.555709>.
- Majumdar, S., & Jayas, D. S. (2000). Classification of cereal grains using machine vision: III. Texture models. *Transactions of the ASABE*, 43(6), 1681-1687. <https://doi.org/10.13031/2013.3068>.
- Matshuisa, T., & Hosokawa, A. (1981). Possibilities of checking cracks in brown rice using illumination by oblique ray and image data processing system. *Journal of the Society of Agriculture machinery of Japan*, 42(4), 515-520. <https://doi.org/10.11357/jsam1937.42.515>.
- Shaker, M., Minaei, S., Khushaqaza, M. H., Banakar, A., & Jafari, A. (2015). Using machine vision to improve performance and reduce waste in paddy peeling machine. *Agricultural Mechanization and Systems Engineering Research Journal*, 16(65), 47-64. <https://doi.org/10.22092/erams.2016.105953>. (in Persian)
- Shaker, M., Yazdani, S., Mohammadi, D., & Alevi Manesh, S. M. (2022). Determining the percentage of breakage and impurity of wheat seed based on the image processing method with the construction and

- evaluation of a single device (*Research Report*), Agricultural Engineering Research Institute, No: 62686. (in Persian)
- Shaker, M., & Jokar, A. (2023). Evaluation of the Machine Vision System to Determine the Percentage of Breakage and the Number of Sorghum, Cotton and Barley Seeds. *Agricultural Mechanization and Systems Research Journal*, 24(86), 99-114. <https://doi.org/10.22092/amsr.2024.365359.1484>. (in Persian)
- Tanska, M., Rotkiewicz, D., Kozirok, W., & Konopka, I. (2005). Measurement of the geometrical features and surface colour of rapeseeds using digital image analysis. *Food Research International*, 38(7), 741-750. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2005.01.008>.
- Venora, G., Grillo, O., Ravalli, C., & Cremonini, R. (2009). Identification of Italian landraces of bean (*Phaseolus vulgaris* L.) using an image analysis system. *Scientia Horticulturae*, 121(4), 410-418. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2009.03.014>.
- Yan, X., Wang, J., Liu, S., & Zhang, C. (2017). Purity identification of maize seed based on color characteristics. Proceedings of the 4th Conference on Computer and Computing Technologies in Agriculture (CCTA). https://doi.org/10.1007/978-3-642-18354-6_73.
- Zayas, I., Converse, H., & Steele, J. (1990). Discrimination of whole from broken corn kernels with image analysis. *Transactions of the ASAE*, 33(5), 1642-1646. <https://doi.org/10.13031/2013.31521>.

Research Paper

Determining the Percentage of Breakage and the Number of Corn and Pinto Bean Seeds using the Machine Vision System

M. Shaker

Associate Professor, Associate Professor, Agricultural Engineering Research Department. Fars Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO, Shiraz, Iran. Email: m.shaker1348@gmail.com

Received: 2 September 2025, Accepted: 4 November

<https://doi.org/10.22092/amsr.2025.370589.1524>

Abstract

In seed purity testing, machine vision can be used as a suitable alternative to human vision. In this research, a machine vision system was used, which included three parts: suction box, sampling box, and imaging box. The above machine vision system was evaluated for seeds of corn and pinto bean. For each type of seed, the performance of the suction device, with three seed plates (with hole diameters of 1, 1.5 and 2 mm) and four suction values (-80, -100, -120 and -130 mmHg) was evaluated. A factorial experiment in the form of a completely randomized design with two factors and five replications was used for statistical analysis of the data and Duncan's test was used to compare the means. In each amount of suction, the total number of seeds of stuck to the seed plate, the number of singled seeds and the number of seeds of stucked together on each hole were counted and their percentage was calculated. After that, for the two types of seeds tested, the algorithm for determining the percentage of breakage and the number of seed coding and validation of the algorithm was evaluated in 30 repetitions. The results showed that for corn seed, treatment 10 (seed plate with holes 2 mm and suction value -100 mm Hg) and for pinto bean seed, treatment 11 (seed plate with 2 mm holes and suction value -120 mm Hg) were the most suitable treatments. The validation results of the algorithm for determining the percentage of breakage and the number of seeds for corn seeds showed that the average accuracy of the algorithm was equal to 100%. For seed of pinto beans, the algorithm validation results showed that the average accuracy of the algorithm in determining the percentage of breakage and the number of seeds were 95.27 and 99.47%, respectively. It is suggested that this system be used to measure and evaluate the physical properties of seeds of different sizes.

Keywords: Image Processing, Machine Learning, Seed Losses, Seed Purity Testing



© 2024 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)