تحقیقات سامانه‌ها و مکانیزاسیون کشاورزی/جلد ۲۳/ شماره ۸۲/تابستان ۱۴۰۱/ص ۳۲-۱۹
سایت مجله: https://www.amsr.areeo.ac.ir

مقاله علمی– پژوهشی

سامانهٔ بینایی ماشین برای تعیین درصد شکستگی و تعداد بذر گندم

محمد شاکر*

استادیار بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی فارس، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، شیراز، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۴/۱۵؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۶/۲۲

چکیده

هدف از این پژوهش، ساخت و ارزیابی سامانهٔ بینایی ماشین برای تعیین درصد شکستگی و تعداد بذر گندم است. این سامانه از سه بخش مکش، نمونه‌برداری و تصویربرداری تشکیل و برای دو رقم گندم ترابی و آذر ارزیابی شده است. در هر رقم گندم، عملکرد دستگاه مکش، با دو صفحهٔ بذر و چهار مقدار مکش بررسی شد. در هر مقدار مکش، تعداد بذرهای جدا شده و بذرهای به هم چسبیده روی هر سوراخ شمارش و درصد آنها محاسبه شد. تصویر تهیه شده توسط دوربین دیجیتال، به محیط نرم‌افزار متلب منتقل و الگوریتم تعیین درصد شکستگی و تعداد بذر گندم کدنویسی و ارائه شد. نتایج بررسی‌ها نشان داد که مناسب‌ترین تیمار برای گندم رقم ترابی، صفحهٔ بذر با سوراخ ۱ میلی‌متر و مکش ۱۰۰- میلی‌متر جیوه با درصد بذرهای جدا شده ۹۵/۳۱ و درصد بذرهای به هم چسبیده ٤/٦٩ است. برای رقم آذر، صفحهٔ بذر با سوراخ ۱ میلی‌متر و مکش ۱۲۰- میلی‌متر جیوه با درصد بذرهای جدا شده ۹۱/٦ و درصد بذرهای به هم چسبیده ۸/٤ مناسب‌ترین تیمار است. نتایج اعتبارسنجی الگوریتم نشان داد که دقت آن برای تعیین درصد شکستگی و تعداد بذر گندم به ترتیب برابر با ۸۵/۳۳ و ۹۸/۷٦ درصد است.

واژه‌های کلیدی

آزمون خلوص بذر، الگوریتم، پردازش تصویر

مقدمه

فرآیند کنترل و گواهی بذر نقش اساسی در افزایش ارزش کمی و کیفی تولیدات کشاورزی و غذای روزمرهٔ مردم دارد و یکی از جنبه‌های مهم علوم کشاورزی محسوب می‌شود. آخرین مرحلهٔ تایید و گواهی بذر، نمونه‌برداری از محمولهٔ بذر برای اجرای آزمون‌های آزمایشگاهی (شامل آزمون‌های خلوص، قابلیت حیات، رطوبت بذر و غیره)، و سرانجام برچسب‌زنی است. بهره‌گیری از روشی دقیق و سریع در تشخیص ارقام مختلف، تعداد بذرهای شکسته و ناخالصی‌ها، 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). در آزمون خلوص بذر، اگرچه برای افزایش سرعت تجزیه و کاهش خستگی متخصص بذر، از وسایل مختلفی استفاده می‌شود، اما اجزا معمولاً با چشم و دست جداسازی می‌شوند. در این شرایط، استفاده از بینایی انسان مستلزم صرف زمان و هزینه است.

*نگارنده مسئول: Email: m.shaker1348@gmail.com
http://10.22092/amsr.2022.359263.1423

افـزون بـر آن بـه دلیـل خسـتگی چشـم، معیارهـای متفـاوت افـراد و خطـای دیـد منجـر بـه حصـول نتـایج ارزیـابی متغیـر و در نتیجـه غیراسـتاندارد مـی‌شـود. بـا توجه بـه مشـکلات ارزیـابی بصـری و انسـانی مـی‌تـوان از بینـایی ماشـین بـه عنـوان جـایگزین مناسـبی بـرای بینایی انسان اسـتفاده کـرد. از مهـم‌تـرین مزایـای سـامانهٔ بینایی ماشـین افـزایش دقـت، سـرعت بـالا، هزینـهٔ کـم و در مجمـوع بـازدهی بالاسـت. ایـن روش مـی‌توانـد جـایگزینی بـرای شـمارش دسـتی و بازرسـی نمونـه‌های بذر باشـد. بـا اسـتفاده از سـامانهٔ بینـایی ماشـین، کـه بـر اسـاس بررسـی خودکـار تصـاویر و تجزیـه و تحلیـل آنهـا با روش‌های پردازش تصـویر عمـل مـی‌کنـد، مـدت زمـان نمونـه‌بـرداری، جداسـازی، شـمارش و تعیـین درصـد شکسـتگی بـذر، حـدود ۳۰ ثانیـه بـه طـول مـی‌انجامـد. همین عمل اگـر بخواهـد بـه وسـیله فـرد متخصـص بـذر انجـام گیـرد، حـدود ۴ تـا ۵ دقیقـه زمـان لازم دارد، یعنـی ۸ تـا ۱۰ برابـر زمـانی کـه بـرای سـامانه بینـایی ماشین لازم است.

پـردازش تصـویر بـرای ارزیـابی و جداسـازی دانـه‌هـا به طور موفقیـت‌آمیـزی بـه کـار گرفتـه شـده اسـت و بـه عنوان روشـی سـریع و مـؤثر مطـرح اسـت. ساپیرسـتین و همکـاران (Sapirstein *et al.*, 1987) از یـک سـامانهٔ بینایی ماشین بـرای دسـته‌بنـدی نمونـه‌هـای دانـه سـالم در گنـدم، جـو، چـاودار و یـولاف بـر اسـاس ویژگـی‌هـای فیزیکی مانند طـول، پهنـا و سـطح دانـه اسـتفاده کردنـد. در تحقیقـی دیگـر از یـک سـامانهٔ بینـایی ماشـین بـرای ارزیـابی کیفیـت ذرت و لوبیـا اسـتفاده شـد (Gunasekaran *et al.*, 1988).

زایـاس و همکـاران (Zayas *et al.*, 1990) از تحلیـل تصـویر بـه همـراه الگـوی آمـاری بـرای تشـخیص دانـه‌هـای ذرت سـالم از دانـه‌هـای شکسـته بهـره‌گیـری کردنـد. از دوازده پـارامتر توصـیف‌گر شـکل و انـدازهٔ دانـه‌هـای ذرت بـرای تشـخیص یـاد شـده اسـتفاده شـد. نتـایج ایـن پـژوهش نشـان داد کـه بـا بـه کـارگیری ایـن روش، همـهٔ دانـه‌هـای شکسـته و ۹۸ درصـد دانـه‌هـای سـالم در نمونـه‌هـای مـورد آزمـایش بـه طـور صـحیح شناسایی شدند.

به منظـور تحلیـل شـکل‌هـای بـرنج قهـوه‌ای و سـفید شـده، انـدازه‌گیـری‌هـایی بـا پـردازش تصـویر روی چهـار رقـم بـرنج بـا سـه روش سـفیدکردن صـورت گرفـت. فاکتورهای سـطح، محـیط، بیشـینهٔ طـول، بیشـینهٔ پهنـا، سـفتی و مقاومـت کششـی انـدازه‌گیـری شـد. همچنـین، جداسازی رقم‌هـای بـرنج از راه اخـتلاف شـکل یـک دانـه بـرنج آزمـایش شـد. نتـایج ایـن تحقیـق روی دانـه‌هـای بـرنج قهـوه‌ای و سـفید شـده نشـان داد کـه جداسـازی ارقـام بـرنج بـا پـردازش تصـویر در سـطح احتمـال ۹۵/۴ درصـد بـا اسـتفاده از فاکتورهـای ابعـاد و شـکل امکان‌پذیر است (Sakai *et al.*, 1996).

ماجومـدار و همکـاران (Majumdar *et al.*, 1997) یک سامانهٔ بینـایی ماشـین خودکـار را بـرای دسـته‌بنـدی دانـه‌هـای گنـدم بهـاره، گنـدم دوروم، جـو، چـاودار و یـولاف بـه کـار گرفتنـد. در تحقیقـی دیگـر توسـط ماجومـدار و جایـاس (Majumdar & Jayas, 2000) یک الگـوریتم بـر اسـاس ویژگـی‌هـای ریخـت‌شناسـی بـه منظور دسـته‌بنـدی دانـه‌هـای گنـدم، جـو، جـو دو سـر و چـاودار بـا اسـتفاده از بینـایی ماشـین تـدوین شـد. در این پـژوهش، ۲۳ ویژگـی ریخـت‌شناسـی بـرای تشـخیص بـه کـار گرفتـه شـد. نتـایج بررسـی‌هـا نشـان داد کـه بـا اسـتفاده از ایـن روش، دقـت دسـته‌بنـدی دانـه‌هـای گنـدم، جـو، جـو دو سـر و چـاودار بـه ترتیـب برابـر بـا ۹۸/۹، ۹۶/۸، ۹۹/۹ و ۸۱/۶ درصد است.

در تحقیقـی، عملکـرد یـک سـامانهٔ بازرسـی خودکـار بـرای دسـته‌بنـدی کیفیـت بـرنج مـورد آزمـایش قـرار گرفت. با ایـن سـامانه، دانـه‌هـای سـالم، تـرک‌دار، گچـی،

نارس، خشکیده، شکسته و آسیب‌دیده از یکدیگر تفکیک شدند. نرم‌افزار ویژه بازرسی کیفیت برنج برای بهبود دقت تفکیک دانه‌ها و عملکرد ماشین تدوین شد. نتایج بررسی‌ها نشان داد که سامانه بازرسی خودکار می‌تواند بیش از ۹۰ درصد دانه‌های برنج را در مقایسه با بازرسی انسانی به طور صحیح دسته‌بندی کند. دانه‌های سالم، گچی و ترک‌دار با دقت بالا به ترتیب برابر با ۹۵، ۹۲ و ۸۷ درصد دسته‌بندی شدند. متوسط سرعت فرایند برای بازرسی کیفی برنج بیش از ۱۲۰۰ دانه در دقیقه بود (Wan *et al*., 2002).

همان‌طور که در بازرسی چشمی، طبقه‌بندی دانه‌ها باید بر اساس اندازهٔ بذر، شکل، رنگ و بافت باشد، در تحقیقی، با به کارگیری سامانهٔ بینایی ماشین و شبکهٔ عصبی مصنوعی، از این ویژگی‌ها برای شناسایی خصوصیات ویژه ۵۷ گونه علف هرز استفاده شد. همچنین مشخص شد که ویژگی‌های اندازه و شکل، در مقایسه با رنگ و بافت، توان بیشتری برای شناسایی بذرها دارند (Granitto *et al*., 2002). در پژوهشی، روش تصویر دیجیتال به منظور تعیین ویژگی‌های هندسی و رنگ سطح دانه‌های کلزا به کار برده شد. از این روش برای تشخیص بعضی ناخالصی‌هایی استفاده شد که جداسازی آنها در فرآیند تمیز کردن مشکل است (Tanska *et al*., 2005).

ونورا و همکاران (Venora *et al*., 2009) با استفاده از سامانهٔ تجزیه و تحلیل تصویر، رقم‌های بومی لوبیا را به منظور ارزیابی اندازه، شکل و رنگ بافت بذر و شناسایی رقم‌ها مطالعه کردند. در پژوهشی، تاناباتا و همکاران (Tanabata *et al*., 2012) با استفاده از نرم‌افزار SmartGrain شکل بذر در برنج را اندازه‌گیری کردند. در پژوهشی دیگر روی جوانه‌زنی شش رقم برنج با استفاده از بینایی ماشین و چهار ویژگی بذر شامل رنگ، اندازه، شکل و بافت، دقت این روش ارزیابی در جوانه‌زنی برنج ۹۳/۰۶ درصد و سرعت روش به کار گرفته شده ۸/۳۱ ثانیه برای هر تصویر اعلام شد (Lurstwut & Pornpanomchai, 2016).

در تحقیقی، کاپادیا و همکاران (Kapadia *et al*., 2017) اعلام کردند که پردازش تصویر در آزمون‌های بذر در تشخیص توده بذر رقم‌های مختلف و همچنین شناسایی و تمایز رقم‌های جدید به منظور معرفی و ثبت آنها نقش مهمی دارد. این روش، به دلیل سرعت زیاد و دقت بالا، کمک شایانی به به‌نژادگران در انتخاب ارقام می‌کند. یان و همکاران (Yan *et al*., 2010) خلوص بذرهای چهار هیبرید ذرت را بر اساس خصوصیات رنگ تجزیه و تحلیل کردند و نشان دادند که الگوریتم mean-K با شناسایی ۹۳/۷۵ درصد می‌تواند به طور مؤثری خلوص بذر ذرت را تعیین کند. امیریوسفی و همکاران (Amiryousefi *et al*., 2018) دانه‌های انار را با استفاده از بینایی ماشین و صفات فیزیوشیمیایی طبقه‌بندی کردند. نتایج کار آنها نشان داد که طبقه‌بندی بر اساس ویژگی‌های تصویر، در مقایسه با صفات فیزیوشیمیایی، رقم‌های مشابه را در یک گروه قرار می‌دهد. این محققان نتیجه‌گیری کردند که به جای روش نسبتاً گران و وقت‌گیر اندازه‌گیری صفات فیزیوشیمیایی، می‌توان از پردازش تصویر دانه‌های انار استفاده کرد.

در پژوهشی، به منظور اصلاح عملکرد دستگاه پوست‌کن شلتوک و کاهش ضایعات برنج، سامانهٔ کنترل خودکار و بینایی ماشین طراحی، ساخته و آزمایش شد. در این تحقیق، الگوریتم

پردازش تصویر به منظور تعیین درصد شکستگی برنج در نرم‌افزار متلب 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).

در تحقیقی، برای شمارش سریع و دقیق گیاهچه‌های سبز شدهٔ ارقام مختلف چغندرقند در مزرعه، روشی مبتنی بر پردازش تصویر ارائه شد. الگوریتم ارائه شده در این روش، مربوط به حالت‌هایی بود که گیاهچه‌ها از یکدیگر فاصله داشتند یا با یکدیگر تماس داشتند. در این تحقیق معلوم شد دقت الگوریتم ۹۰/۳۲ درصد و مدت زمان اجرای آن حدود ۱/۶۷ ثانیه است. تعداد واقعی گیاهچه‌ها و تعداد مشاهده شده توسط الگوریتم با استفاده از آزمون مقایسه‌ای تی- استودنت زوجی از نظر آماری بررسی و مشخص شد که بین آنها تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد وجود ندارد. همچنین مشخص شد که ارقام مختلف چغندرقند در اجرای الگوریتم و دقت آن تأثیری ندارند (Shaker *et al*., 2020).

با توجه به مطالب فوق، به کارگیری سامانهٔ بینایی ماشین در آزمون خلوص بذر گندم و ارزیابی آن از لحاظ زمان مورد نیاز و دقت در اجرای کار، ضروری به نظر می‌رسد. هدف از این تحقیق، ساخت و ارزیابی یک سامانه بینایی ماشین برای تعیین درصد شکستگی و تعداد بذر گندم است.

مواد و روش‌ها

در این تحقیق، یک سامانه بینایی ماشین طراحی و ساخته شد که از سه بخش جعبه مکش، جعبه نمونه‌برداری و جعبه تصویربرداری تشکیل شده است؛ این سامانه برای دو رقم گندم مورد ارزیابی قرار گرفت (شکل ۱).

در جعبه مکش از یک موتور ۱۶۰۰ وات با فن مکشی استفاده شد. یک دستگاه دیمر[1] (مقاومت متغییر) برای تنظیم سرعت دورانی موتور و مقدار مکش تولیدی و یک تایمر برای تنظیم زمان قطع شدن مکش در جعبه به کار برده شد. مقدار مکش تولیدی از ۵۰- تا ۱۶۰- میلی‌متر جیوه قابل تنظیم بود. برای اندازه‌گیری مقدار مکش تولید شده و واسنجی آن، از دستگاه اندازه‌گیری مکش استفاده شد.

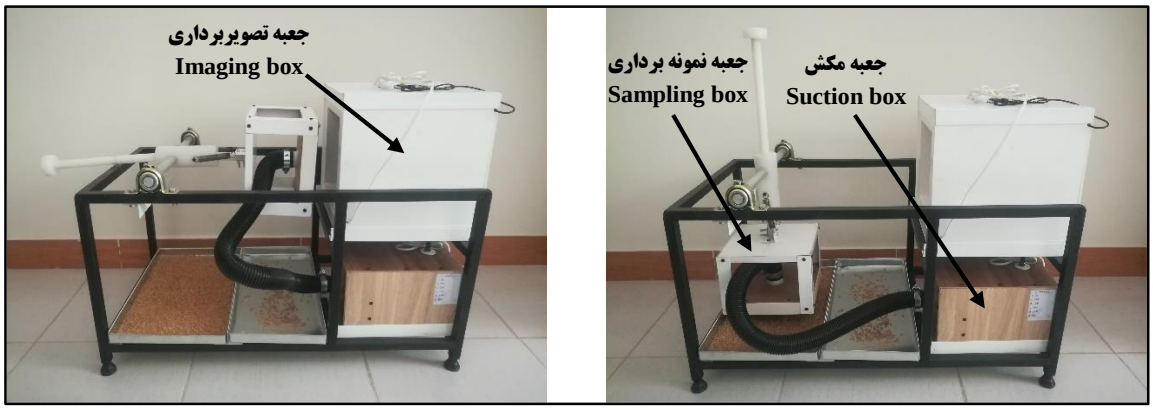
برای نمونه‌برداری از یک جعبه با چارچوب چوبی به ابعاد ۲۰ ×۲۰ × ۲ سانتی‌متر و دو صفحهٔ بذر فلزی استفاده شد. روی صفحهٔ بذر به فاصله‌های ۱۵ میلی‌متر، سوراخ‌هایی به قطر ۱ و ۱/۵ میلی‌متر ایجاد شد (دو صفحهٔ بذر روی چارچوب چوبی قابل تعویض بودند)، در مجموع ۱۰۰ سوراخ روی صفحه بذر تعبیه شد. رنگ مشکی مات که مناسب زمینه تصویربرداری است، برای رنگ‌آمیزی روی صفحهٔ بذر استفاده شد. جعبهٔ نمونه‌برداری با استفاده از دو فنر کششی و اتصالات مربوطه به شاسی متصل شده است. بر اساس مکانیزمی که به کار برده شد، تمام حرکات جعبهٔ نمونه‌برداری محدود و فقط دو حرکت عمودی و دورانی حول محور متصل به شاسی برای آن ایجاد شده است. دو جعبهٔ مکش و نمونه‌برداری با یک لولهٔ خرطومی قابل انعطاف به یکدیگر متصل شده‌اند.

پس از روشن کردن موتور و ایجاد مکش در جعبهٔ نمونه‌برداری، با فشار دادن جعبه به سمت پایین روی سینی بذر و نگه‌داشتن آن به مدت ۲ تا ۳ ثانیه، نمونه‌ای از بذر گرفته می‌شود

1- Dimmer

(بذرها روی سوراخ‌های صفحه بذر می‌چسبند). پس از آن با برداشتن فشار و با نیروی فنرهای تعبیه شده، جعبه به حالت اولیه خود باز می‌گردد. در این حالت با دوران جعبه نمونه‌برداری حول محور متصل به شاسی، این جعبه در مقابل جعبه تصویربرداری قرار می‌گیرد. در این مرحله، یک تصویر از صفحهٔ بذر با دوربین دیجیتال، به صورت دستی تهیه می‌شود. پس از آن با قطع مکش تولید شده، نمونهٔ بذر در سینی دیگر ریخته می‌شود.

جعبهٔ تصویربرداری به‌نحوی ساخته شده است که روشنایی آن با لامپ فلورسنت تامین و با برخورد نور لامپ به صفحهٔ وسط و انعکاس آن به سمت پایین، نور به طور غیرمستقیم و یکنواخت روی بذرها منعکس می‌شود. یک دوربین دیجیتال (مدل Logitech – C170 با وضوح تصویر ۵ مگا پیکسل، ساخت کشور چین) در بالای جعبه در ارتفاع ۳۰ سانتی‌متری تعبیه شده است؛ با تصویربرداری از ارتفاع ثابت، لرزش یا خطایی در تصاویر به وجود نمی‌آید.



شکل ۱- بخش‌های مختلف سامانهٔ بینایی ماشین

Fig. 1- Different parts of the machine vision system

از گندم رقم ترابی (آبی) و رقم آذر (دیم) برای ارزیابی سامانهٔ بینایی ماشین گفته شده استفاده شد. برای هر یک از دو نوع گندم، عملکرد دستگاه مکش با دو صفحهٔ بذر (با قطر سوراخ‌های ۱ و ۱/۵ میلی‌متر) و چهار مقدار مکش (۸۰-، ۱۰۰-، ۱۲۰- و ۱۳۰- میلی‌متر جیوه) ارزیابی شد. از طرح کاملاً تصادفی با پنج تکرار، برای آنالیز آماری داده‌ها و از آزمون دانکن برای مقایسهٔ بین میانگین‌ها استفاده شد. در هر مقدار مکش، تعداد کل بذرهای چسبیده به صفحهٔ بذر، تعداد بذرهای جدا شده و بذرهای به هم چسبیده روی هر سوراخ، شمارش و درصد آنها محاسبه شد. برای هر نوع گندم، صفحهٔ بذر و مقدار مکش مناسب دستگاه انتخاب شد که در آن بیشترین درصد بذرهای جدا شده و کمترین درصد بذرهای به هم چسبیده وجود داشت.

تصویر تهیه شده با دوربین دیجیتال، به محیط نرم‌افزار متلب[1] منتقل و با استفاده از روش‌های پردازش تصویر و توابع موجود در نرم‌افزار، الگوریتم تعیین درصد شکستگی و تعداد بذر گندم کدنویسی و ارائه شد. الگوریتم پردازش تصویر شامل توابع و عملگرهایی است که مشخصه‌های ویژه‌ای را از تصویر استخراج می‌کند و مبنای تصمیم‌گیری قرار می‌دهد.

1- MATLAB R2013b

این مشخصه‌ها با استفاده از داده‌های هر پیکسل از تصویر دیجیتال به دست می‌آید. در ابتدا، با پیش پردازش و بهینه‌سازی تصویر، بذرها از زمینهٔ اصلی تفکیک و برای پردازش نهایی و استخراج شاخص های کیفی مورد نظر آماده می‌شوند. پس از آن، عملیات پردازش تصویر ادامه می‌یابد. در این تحقیق، برای تهیهٔ الگوریتم پردازش تصویر، از فضای باینری (سیاه و سفید) استفاده شد و با به کارگیری جعبه ابزار مربوط در نرم‌افزار متلب، کدنویسی دنبال شد.

برای اعتبارسنجی الگوریتم و تعیین دقت آن، به طور تصادفی ۱۰ نمونه از بذر گندم (به عنوان ۱۰ تکرار) انتخاب و در هر نمونه درصد شکستگی بذر و تعداد واقعی بذرهای سالم، به صورت چشمی و با دست (به عنوان روش رایج) جدا و محاسبه شد. با تصویربرداری از همان نمونه و اجرای الگوریتم، تعداد و درصد شکستگی بذر تعیین و با تعداد واقعی مقایسه شد. پس از آن دقت و خطای الگوریتم بر حسب درصد محاسبه شد. از آزمون مقایسه‌ای تی (t-Test) برای مقایسه آماری داده‌ها استفاده شد.

نتایج و بحث

در این تحقیق، تیمارهای مورد ارزیابی بر اساس نوع صفحه بذر و مقدار مکش به شرح زیر بودند:

تیمار ۱- صفحهٔ بذر با سوراخ ۱ میلی‌متر و مکش ۸۰- میلی‌متر جیوه

تیمار ۲- صفحهٔ بذر با سوراخ ۱ میلی‌متر و مکش ۱۰۰- میلی‌متر جیوه

تیمار ۳- صفحهٔ بذر با سوراخ ۱ میلی‌متر و مکش ۱۲۰- میلی‌متر جیوه

تیمار ۴- صفحهٔ بذر با سوراخ ۱ میلی‌متر و مکش ۱۳۰- میلی‌متر جیوه

تیمار ۵- صفحهٔ بذر با سوراخ ۱/۵ میلی‌متر و مکش ۸۰- میلی‌متر جیوه

تیمار ۶- صفحهٔ بذر با سوراخ ۱/۵ میلی‌متر و مکش ۱۰۰- میلی‌متر جیوه

تیمار ۷- صفحهٔ بذر با سوراخ ۱/۵ میلی‌متر و مکش ۱۲۰- میلی‌متر جیوه

تیمار ۸- صفحهٔ بذر با سوراخ ۱/۵ میلی‌متر و مکش ۱۳۰- میلی‌متر جیوه

تجزیهٔ واریانس درصد بذرهای جدا شده و بذر-های به هم چسبیده روی صفحهٔ بذر، مربوط به گندم رقم ترابی در جدول ۱ ارائه شده است. نتایج این جدول نشان می‌دهد که اثر تیمار بر درصد بذر-های جدا شده و بذرهای به هم چسبیده در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار است.

مقایسهٔ میانگین‌های اثر تیمارهای مورد ارزیابی بر درصد بذرهای جدا شده و بذرهای به هم چسبیده، مربوط به گندم رقم ترابی در جدول ۲ ارائه شده است. نتایج این جدول حاکی از آن است که بیشترین درصد بذرهای جدا شده در تیمار ۱ (صفحهٔ بذر با سوراخ ۱ میلی‌متر و مکش ۸۰- میلی‌متر جیوه) با ۹۸/۳۸ درصد و کمترین مقدار آن در تیمار ۷ (صفحهٔ بذر با سوراخ ۱/۵ میلی‌متر و مکش ۱۲۰- میلی‌متر جیوه) با ۵۷/۶۵ درصد واقع شده است. نتایج جدول ۲ همچنین نشان می‌دهد که بیشترین درصد بذرهای به هم چسبیده در تیمار ۷ (صفحهٔ بذر با سوراخ ۱/۵ میلی‌متر و مکش ۱۲۰- میلی‌متر جیوه) با ۴۲/۳۵ درصد و کمترین مقدار آن در تیمار ۱ (صفحهٔ بذر با سوراخ ۱ میلی‌متر و مکش ۸۰- میلی‌متر جیوه) با ۱/۶۲ درصد اتفاق افتاده است.

بررسی و جمع‌بندی نتایج جدول‌های ۱ و ۲

نشان می‌دهد که مناسب‌ترین تیمار برای گندم رقم ترابی، تیمار ۲ (صفحهٔ بذر با سوراخ ۱ میلی‌متر و مکش ۱۰۰- میلی‌متر جیوه) با درصد بذرهای جدا شده ۹۵/۳۱ و درصد بذرهای به هم چسبیده ۴/۶۹ درصد است. این تیمار با تیمارهای ۱ و ۳ در یک گروه آماری قرار دارند و اختلاف معنی‌داری بین آنها وجود ندارد، اما با توجه به اینکه تعداد کل بذرهای چسبیده به صفحهٔ بذر در تیمار ۲ بیشتر از تعداد کل بذرهای چسبیده به صفحهٔ بذر در تیمار ۱ است، بنابراین این تیمار انتخاب شد. نمونهٔ تصویرهای تهیه شده برای گندم رقم ترابی در مکش ۱۰۰- میلی‌مترجیوه با صفحهٔ بذر ۱ و ۱/۵ میلی‌متر در شکل ۲ ارائه شده است.

جدول ۱- تجزیهٔ واریانس درصد بذرهای جدا شده و بذرهای به هم چسبیده (گندم رقم ترابی)

Table 1- Analysis of variance of singled seeds and sticked together seeds (wheat of Torabi cultivar)

ردیف Row	منابع تغییر Sources of change	درجهٔ آزادی Degrees of freedom	میانگین مربعات Mean of squares	
			بذرهای جدا شده Singled seeds	بذرهای به هم چسبیده Sticked together seeds
1	تیمار Treatment	7	1509.44 **	1509.44 **
2	خطای آزمایشی Trial error	32	15.61	15.61
3	کل Total	40		

** معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد

** Significant at 1% probability level

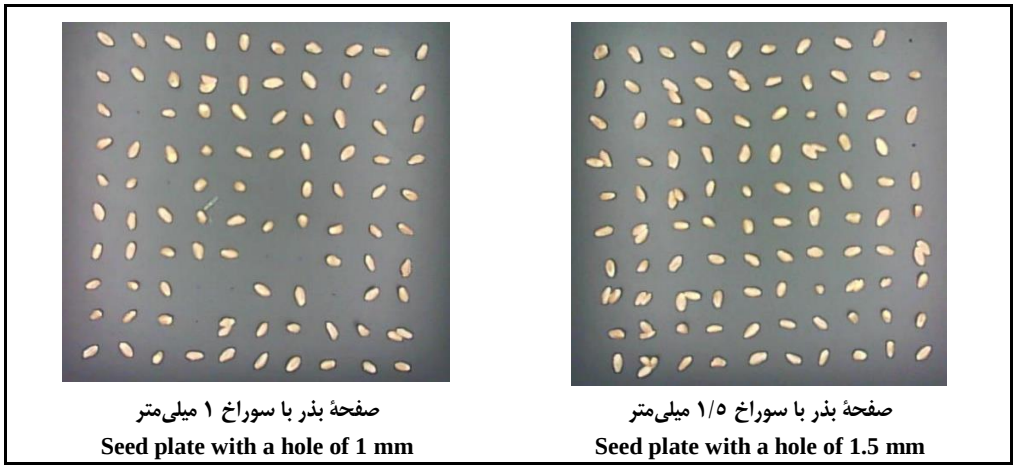
جدول ۲- مقایسهٔ میانگین‌های اثر تیمار بر درصد بذرهای جدا شده و بذرهای به هم چسبیده (گندم رقم ترابی)

Table 2 - Comparison of the means of treatment effect on the percentage of singled seeds and sticked together seeds (wheat of Torabi cultivar)

تیمار Treatment	بذرهای جدا شده (درصد) Singled seeds (%)	بذرهای به هم چسبیده (درصد) Sticked together seeds (%)
1	98.38 a	1.62 e
2	95.31 ab	4.69 de
3	95.08 ab	4.92 de
4	90.72 b	9.28 d
5	73.78 c	26.22 c
6	66.47 d	33.53 b
7	57.65 e	42.35 a
8	58.09 e	41.91 a

اعداد دارای حروف مشابه نشان‌دهنده نبود اختلاف معنی‌دار بین آنهاست.

Similar letters indicate that there is no significant difference.



شکل ۲- نمونهٔ تصویرهای تهیه شده برای گندم رقم ترابی در مکش ۱۰۰- میلی‌مترجیوه

Fig. 2- Sample of images prepared for wheat of Torabi cultivar in suction of -100 mm Hg

تجزیهٔ واریانس درصد بذرهای جدا شده و بذرهای به هم چسبیده روی صفحهٔ بذر، مربوط به گندم رقم آذر در جدول ۳ ارائه شده است. نتایج این جدول نشان می‌دهد که اثر تیمار بر درصد بذرهای جدا شده و بذرهای به هم چسبیده در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار است.

مقایسهٔ میانگین‌های اثر تیمارهای مورد ارزیابی بر درصد بذرهای جدا شده و بذرهای به هم چسبیده، مربوط به گندم رقم آذر در جدول ۴ ارائه شده است. نتایج این جدول حاکی از آن است که بیشترین درصد بذرهای جدا شده در تیمار ۳ (صفحهٔ بذر با سوراخ ۱ میلی‌متر و مکش ۱۲۰- میلی‌متر جیوه) با ۹۱/۶۰ درصد و کمترین مقدار آن در تیمار ۸ (صفحهٔ بذر با سوراخ ۱/۵ میلی‌متر و مکش ۱۳۰- میلی‌متر جیوه) با ۳۹/۱۳ درصد واقع شده است. نتایج جدول ۴ همچنین نشان می‌دهد که بیشترین درصد بذرهای به هم چسبیده در تیمار ۸ (صفحهٔ بذر با سوراخ ۱/۵ میلی‌متر و مکش ۱۳۰- میلی‌متر جیوه) با ۶۰/۸۷ درصد و کمترین مقدار آن در تیمار ۳ (صفحهٔ بذر با سوراخ ۱ میلی‌متر و مکش ۱۲۰- میلی‌متر جیوه) با ۸/۴۰ درصد اتفاق افتاده است.

بررسی و جمع‌بندی نتایج جدول‌های ۳ و ۴ نشان می‌دهد که مناسب‌ترین تیمار برای گندم رقم آذر، تیمار ۳ (صفحهٔ بذر با سوراخ ۱ میلی‌متر و مکش ۱۲۰- میلی‌متر جیوه) با درصد بذرهای جدا شده ۹۱/۶ و درصد بذرهای به هم چسبیده ۸/۴ درصد است. این تیمار با تیمارهای ۲ و ۴ در یک گروه آماری قرار دارند و اختلاف معنی‌داری بین آنها وجود ندارد، اما با توجه به اینکه بیشترین درصد بذرهای جدا شده و کمترین درصد بذرهای به هم چسبیده در این تیمار وجود دارد، بنابراین این تیمار انتخاب شد. نمونهٔ تصویرهای تهیه شده برای گندم رقم آذر در مکش ۱۲۰- میلی‌مترجیوه با صفحهٔ بذر ۱ و ۱/۵ میلی‌متر در شکل ۳ ارائه شده است.

جدول ۳- تجزیهٔ واریانس درصد بذرهای جدا شده و بذرهای به هم چسبیده (گندم رقم آذر)

Table 3- Analysis of variance of singled seeds and sticked together seeds (Azar cultivar)

ردیف Row	منابع تغییر Sources of change	درجهٔ آزادی Degrees of freedom	میانگین مربعات Mean of squares	
			بذرهای جدا شده Singled seeds	بذرهای به‌هم چسبیده Sticked together seeds
1	تیمار Treatment	7	2297.53 **	2297.53 **
2	خطای آزمایشی Trial error	32	29.19	29.19
3	کل Total	40		

** معنی‌دار در سطح احتمال ۱٪ ** Significant at 1% probability level

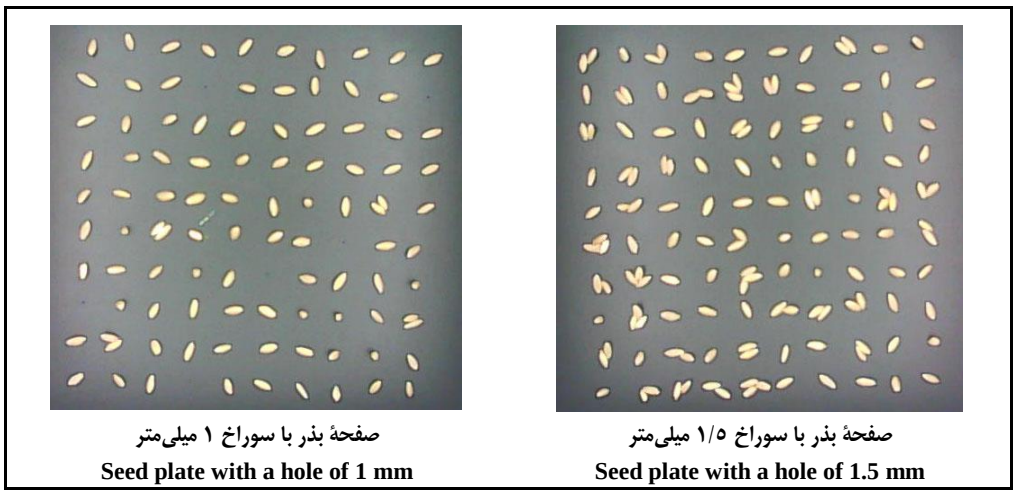
جدول ٤- مقایسهٔ میانگین‌های اثر تیمار بر درصد بذرهای جدا شده و بذرهای به هم چسبیده (گندم رقم آذر)

Table 4 - Comparison of the means of treatment effect on the percentage of singled seeds and sticked together seeds (wheat of Azar cultivar)

تیمار Treatment	بذرهای جدا شده (درصد) Singled seeds (%)	بذرهای بهم چسبیده (درصد) Sticked together seeds (%)
1	83.66 b	16.34 d
2	84.99 ab	15.01 de
3	91.60 a	8.40 e
4	87.13 ab	12.87 de
5	54.61 c	45.39 c
6	50.50 cd	49.50 bc
7	46.91 d	53.09 b
8	39.13 e	60.87 a

اعداد دارای حروف مشابه نشان‌دهنده نبود اختلاف معنی‌دار بین آنهاست.

Similar letters indicate that there is no significant difference.



صفحهٔ بذر با سوراخ ۱/۵ میلی‌متر
Seed plate with a hole of 1.5 mm

صفحهٔ بذر با سوراخ ۱ میلی‌متر
Seed plate with a hole of 1 mm

شکل ۳- نمونهٔ تصویرهای تهیه شده برای گندم رقم آذر در مکش ۱۲۰- میلی‌مترجیوه

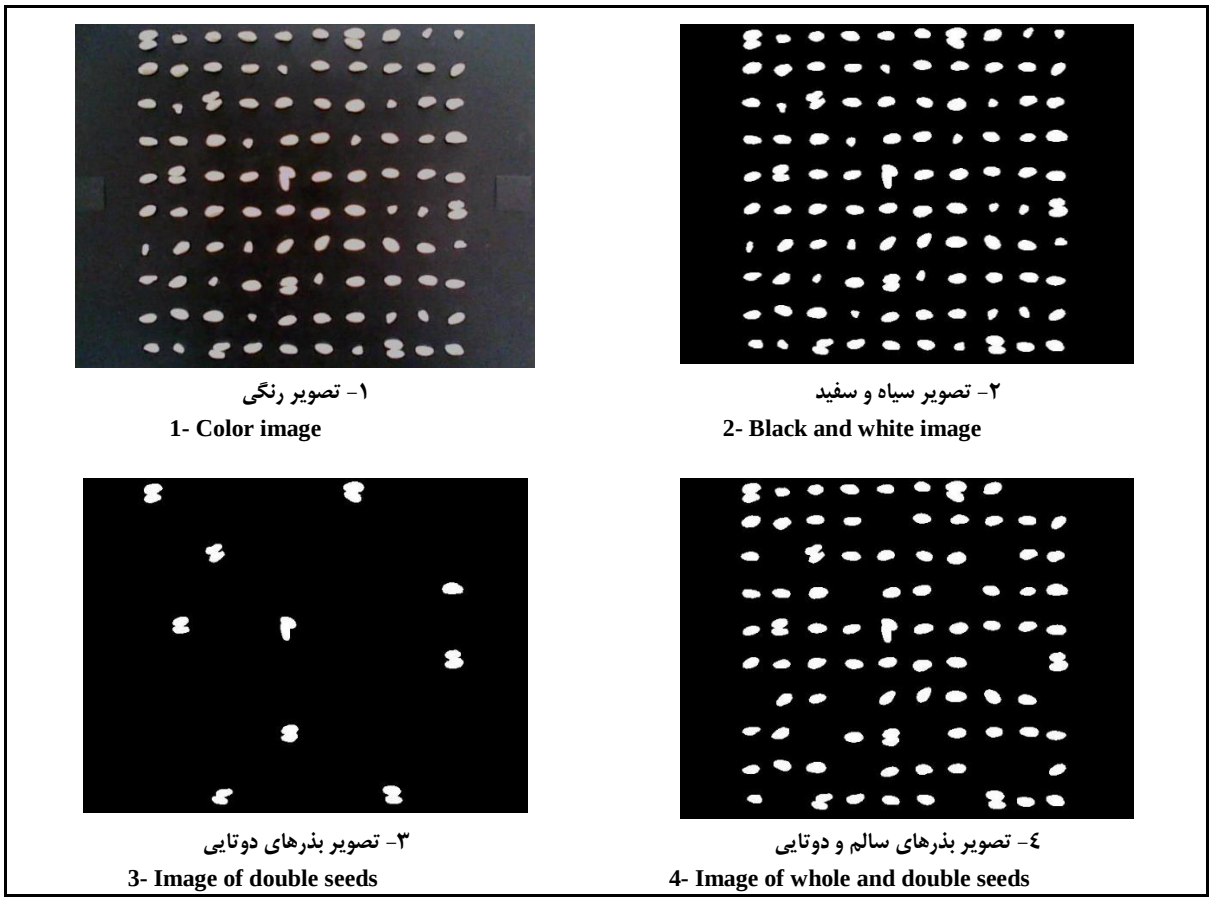
Fig. 3- Sample of images prepared for wheat of Azar cultivar in suction of -120 mm Hg

الگوریتم تعیین درصد شکستگی و تعداد بذر گندم در نرم‌افزار متلب، کدنویسی و به شرح زیر ارائه شد. ابتدا ۱۰۰ بذر گندم روی یک صفحه مشکی مات، با فاصله از یکدیگر چیده شد. مساحت آنها با استفاده از دستورات bwlabel و regionprops بر حسب تعداد پیکسل به دست آمد و میانگین آنها محاسبه شد. این میانگین برای گندم رقم ترابی برابر با ۲۸۷ پیکسل بود. پس از آن، با استفاده از دستورات imread، im2bw، bwareaopen و bwlabel الگوریتم تعیین درصد شکستگی و تعداد بذر گندم کدنویسی و بررسی شد.

مراحل اجرای الگوریتم فوق، در شکل ۴ ارائه شده است. در این الگوریتم ابتدا تصویر رنگی به سیاه و سفید تبدیل شد و پس از آن با لیبل‌گذاری، تعداد کل بذرها در تصویر شمارش شد. سپس با آستانه‌گذاری لازم (بر اساس تعداد پیکسل‌های سطح یک بذر گندم سالم)، تعداد بذرهای شکسته، سالم و دوتایی تعیین شد و در نهایت درصد شکستگی و تعداد بذرهای سالم محاسبه و ارائه گردید.

نتایج اعتبارسنجی الگوریتم، در بررسی ۱۰ تصویر تهیه شده از بذر گندم (به عنوان ۱۰ تکرار) نشان داد که میانگین خطای الگوریتم در محاسبه درصد شکستگی بذر گندم برابر با ۱۴/۶۷ درصد و میانگین دقت آن برابر با ۸۵/۳۳ درصد است. نتایج بررسی‌ها همچنین نشان داد که میانگین خطای الگوریتم در تعیین تعداد بذر گندم برابر با ۱/۲۴ درصد و میانگین دقت آن برابر با ۹۸/۷۶ درصد است.

نتایج آزمون مقایسه‌ای تی (t-Test) برای داده‌های درصد شکستگی و تعداد بذر گندم در دو حالت واقعی و مشاهده شده توسط الگوریتم، در جدول ۵ ارائه شده و حاکی از آن است که بین درصد شکستگی واقعی بذر گندم و درصد شکستگی مشاهده شده توسط الگوریتم و همچنین تعداد واقعی بذر گندم و تعداد مشاهده شده توسط الگوریتم، از نظر آماری در سطح احتمال ۵ درصد تفاوت معنی‌داری وجود ندارد. بنابراین می‌توان به جای محاسبه درصد شکستگی و شمارش تعداد بذر گندم، با تصویربرداری و به کارگیری الگوریتم، این دو فاکتور را به ترتیب با دقت ۸۵/۳۳ و ۹۸/۷۶ درصد به دست آورد.



شکل ٤- مراحل مختلف اجرای الگوریتم تعیین درصد شکستگی و تعداد بذر گندم

Fig. 4- Different stages of implementation of the algorithm to determine the percentage of breakage and the number of wheat seeds

جدول ٥- نتایج آزمون مقایسه‌ای تی برای داده‌های درصد شکستگی و تعداد بذر گندم

Table 5- The results of the comparative t test for the percentage of breakage and the number of wheat seeds

ردیف Row	منابع تغییر Sources of change	درصد شکستگی percentage of breakage		تعداد بذر number of seeds	
		مقدار t t value	معنی‌داری significant	مقدار t t value	معنی‌داری significant
1	تیمار (مقدار واقعی و مقدار مشاهده شده) Treatment (actual value and observed value)	-0.78	0.45 ns	1.05	0.31 ns

ns نبود اختلاف معنی‌دار ns no significant difference

نتیجه‌گیری

جمع‌بندی نتایج نشان می‌دهد که در این سامانهٔ بینایی ماشین، مناسب‌ترین شرایط برای گندم رقم ترابی، تیمار ۲ (صفحهٔ بذر با سوراخ ۱ میلی‌متر و مکش ۱۰۰- میلی‌متر جیوه) با درصد بذرهای جدا شده ۹۵/۳۱ و درصد بذرهای به هم چسبیده ۴/۶۹ درصد است. همچنین مشخص شد که مناسب‌ترین شرایط برای گندم رقم آذر، تیمار ۳ (صفحهٔ بذر با سوراخ ۱ میلی‌متر و مکش ۱۲۰- میلی‌متر جیوه) با درصد بذرهای جدا شده ۹۱/۶ و درصد بذرهای به

هم چسبیده ۸/۴ درصد است. نتایج اعتبارسنجی الگوریتم نشان می‌دهد که میانگین خطای آن در محاسبهٔ درصد شکستگی بذر گندم برابر با ۱۴/۶۷ درصد و میانگین خطای آن در تعیین تعداد بذر گندم برابر با ۱/۲۴ درصد است. با توجه به نتایج آزمون مقایسه‌ای تی، برای داده‌های درصد شکستگی و تعداد بذر گندم در دو حالت واقعی و مشاهده شده توسط الگوریتم و معنی‌دار نبودن آن، به جای محاسبه درصد شکستگی و شمارش تعداد بذر گندم، با تصویربرداری و به کارگیری الگوریتم، می‌توان این دو فاکتور را به ترتیب با دقت ۸۵/۳۳ و ۹۸/۷۶ درصد به دست آورد. مدت زمان لازم برای نمونه‌برداری، جداسازی، شمارش و تعیین درصد شکستگی بذر گندم در این سامانه، حدود ۲۰ ثانیه به طول می‌انجامد که در مقایسه با روش معمول و استفاده از فرد متخصص و بینایی انسان، زمان مورد نیاز حدود یک دوازدهم کاهش می‌یابد.

مراجع

Amiryousefi, M. R., Mohebbi, M. & Tehranifar, A. (2018). Pomegranate seed clustering by machine vision. *Food science and nutrition*, *6*(1), 18-26.

Ghaderifar, F., & Soltani, A. (2010). *Seed control and certification*. Publications of Mashhad University – Jahad. (in Persian)

Granitto, M., Navone, D., Verdes, F., & Ceccatto, H. A. (2002). Weed seeds identification by machine vision. *Computers and Electronics in Agriculture*, *33*(2), 91-103.

Gunasekaran, S., Cooper, T. M., & Berlage, A. G. (1988). Evaluating quality factors of corn and soybeans using a computer vision system. *Transactions of the ASAE*, *31*(4), 1264-1271.

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), 555709.

Lurstwut, B., & Pornpanomchai, C. (2016). Application of image processing and computer vision on rice seed germination analysis. *International Journal of Applied Engineering Research, 11*(1), 6800-6807.

Majumdar, S., & Jayas, D. S. (2000). Classification of cereal grains using machine vision: III. Texture models. *Transactions of the ASABE*, *43*(6), 1681-1687.

Majumdar, S., Jayas, D. S., & Bulley, N. R. (1997). Classification of cereal grains using machine vision. *ASAE Paper* No. 97-3105. St Joseph, Mich., ASAE.

Sakai, N., Yonekawa, S., & Matsuzaki, A. (1996). Two-dimensional image analysis of the shape of rice and its application to separating varieties. *Journal of Food Engineering*, *27*(4), 397-407.

Sapirstein, H. D., Neuman, M., Wright, E. H., Swedyk, E., & Bushuk, W. (1987). An instrumental system for cereal grain classification using digital image analysis. *Journal of Cereal Science*, *6*(1), 3-14.

Shaker, M., Bazrafshan, M., & Jafari, A. (2020). Determining the number of sugar beet seedling using image processing method. *Sugarbeet Journal*, *36*(1), 71-79. (in Persian)

Shaker, M., Minaei, S., Khushtaqaza, 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. (in Persian)

Tanabata, T., Shibaya, T., Hori, K., Ebana, K., & Yano, M. (2012). Smart Grain: high-throughput phenotyping software for measuring seed shape through image analysis. *Plant Physiology*, *160*(4), 1871-1880.

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.

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.

Wan, Y. N., Lin, C. M., & Chiou, J. F. (2002). Rice quality classification using an automatic grain quality inspection system. *Transactions of the ASAE, 45*(2), 379-387.

Yan, X., Wang, J., Liu, S., & Zhang, C. (2010). *Purity identification of maize seed based on color characteristics. Proceedings of the 4th Conference on Computer and Computing Technologies in Agriculture (CCTA).* Oct. 22-25, Nanchang, China.

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.

Agricultural Mechanization and Systems Research/Vol.23/No.82/Summer 2022/P:19-32
Journal Home Page: https://amsr.areeo.ac.ir

Research Paper

Machine Vision System to Determine the Percentage of Breakage and the Number of Wheat Seeds

M. Shaker

Assistant Professor, Agricultural Engineering Research Department, Fars Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research Education and Extension Organization, Shiraz, Iran. Email: m.shaker1348@gmail.com
Received: 6 July 2022, Accepted: 13 September 2022
http://doi: 10.22092/amsr.2022.359263.1423

Abstract

The purpose of this research was to build and evaluate a machine vision system to determine the percentage of breakage and the number of wheat seeds. In this research, a machine vision system was designed and built and evaluated for two cultivars, Torabi and Azar wheat. The system consists of three parts: suction box, sampling box and imaging box. In each type of wheat, the performance of the suction device was evaluated with two seed plates and four suction values. In each amount of suction, the total number of seeds of sticked to the seed plate, the number of singled seeds and the seeds of sticked together on each hole were counted and their percentage was calculated. The image prepared by the digital camera was transferred to MATLAB software and breakage determination algorithm and wheat seed number was coded and presented using image processing methods and functions in the software. The results showed that the most suitable treatment for wheat of Torabi cultivar was seed plate with 1 mm hole and suction of -100 mm Hg with 95.31 percent singled seeds and 4.69 percent of sticked together seeds. For Azar cultivar, seed plate with 1 mm hole and suction of -120 mm Hg with a percentage of singled seeds of 91.6 and a percentage of sticked together seeds of 8.4 was the most appropriate treatment. The validation results of the algorithm showed that its accuracy for determining the percentage of breakage and the number of wheat seeds were 85.33 and 98.76%, respectively.

Keywords: Algorithm, Image Processing, Seed Purity Test

© 2022 Agricultural Mehanization 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)