وزارت جهاد کشاورزی
سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی
مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی

نشریه فنی :

معرفی سامانه بینایی ماشین برای تعیین میزان شکستگی، ناخالصی و تعداد بذر گندم

محمد شاکر، عادل بخشی پور و دادگر محمدی

سال انتشار: ۱۴۰۱

AERI

آدرس: کرج، بلوار شهید فهمیده، کدپستی: ۳۱۳۵۹۱۳۵۳۳، مؤسسه تحقیقات فنی ومهندسی کشاورزی
تلفن: ۳۲۷۰۵۳۲۰، ۳۲۷۰۵۲۴۲ و ۳۶۱۵۰۰۰۰(۰۲۶)
دورنگار: ۳۲۷۰۶۲۷۷ (۰۲۶)، آدرس دسترسی: www.aeri.ir(بخش انتشارات الکترونیکی)

بسم الله الرحمن الرحیم

موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی

نشریهٔ فنی:
سامانه بینایی ماشین برای تعیین میزان شکستگی، ناخالصی و تعداد بذر گندم

تهیه و تدوین:

محمد شاکر[۱]، عادل بخشی‌پور[۲]، دادگر محمدی[۱]

[۱]عضو هیئت علمی مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان فارس

[۲]عضو هیئت علمی دانشگاه گیلان

سال انتشار:

۱۴۰۱

وزارت جهاد کشاورزی
سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی
مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی

نوع نوشتار: نشریهٔ فنی
عنوان نوشتار: سامانه بینایی ماشین برای تعیین میزان شکستگی، ناخالصی و تعداد بذر گندم
نگارندگان: محمد شاکر، عادل بخشی‌پور، دادگر محمدی
ویراستار ادبی: محمدرضا داهی
طراح جلد: سمیه وطن‌دوست
صفحه‌آرا: شبنم جباری
ناشر: مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی
شمارگان: محدود
نوبت چاپ: اول
سال انتشار: ۱۴۰۱

مسئولیت صحت مطالب با نگارندگان است.

شماره ثبت ٦٣٢١٥ در مرکز فناوری اطلاعات و اطلاع‌رسانی کشاورزی
سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی به تاریخ ١٤٠١/١٢/١٨

مخاطبان نشریه:

کارشناسان آزمایشگاه‌های کنترل و گواهی بذر، کارشناسان پهنهٔ مستقر در پهنه‌بندی و محققان معین

هدف‌های آموزشی:

شما خوانندگان گرامی در این نشریه با:

- اجزای سامانهٔ بینایی ماشین
- نحوهٔ عملکرد سامانه و ارزیابی فنی آن
- ارزیابی اقتصادی سامانه و مزایای آن

آشنا خواهید شد.

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
مقدمه	۱
اجزای سامانهٔ بینایی ماشین	۲
ارزیابی فنی سامانه بینایی ماشین	۶
ارزیابی اقتصادی سامانه بینایی ماشین	۱۲
نتیجه‌گیری	۱۳
پیشنهادها	۱۳
فهرست منابع	۱۴

مقدمه

گندم مهم‌ترین گیاه زراعی در دنیاست که نقش مهمی در تأمین نیاز غذایی انسان‌ها دارد. با توجه به رشد جمعیت ایران و جهان و کمبود غذا در سطح دنیا، بررسی تمام راهکارهایی که سبب افزایش تولید گندم و استفادهٔ بهینه از گندم تولید شده می‌شوند مهم و قابل توجه است. فرآیند کنترل و گواهی بذر نقش اساسی در افزایش ارزش کمی و کیفی تولیدات کشاورزی و غذای روزمره مردم دارد و یکی از جنبه‌های مهم علوم کشاورزی محسوب می‌شود.

آخرین مرحلهٔ تایید و گواهی بذر گندم، نمونه‌برداری از محمولهٔ بذر برای اجرای آزمون‌های آزمایشگاهی (شامل آزمون‌های خلوص، قابلیت حیات، رطوبت بذر و ...) و پس از آن برچسب‌زنی است. بهره‌گیری از روش دقیق و سریع تشخیص ارقام مختلف، تعداد بذرهای شکسته و ناخالصی‌ها، مطابق با استاندارد اصول و مقررات کنترل و گواهی بذر، می‌تواند در جلوگیری از زیان فراوان این اختلاط نقش مؤثری داشته باشد (قادری‌فر و سلطانی، ۱۳۸۹). در آزمون خلوص بذر، اگر چه برای افزایش سرعت تجزیه و کاهش خستگی متخصص بذر، از وسایل مکانیکی (تخته‌کار، نورکافی، انبر، ذره‌بین، بینی‌کولارو، میکروسکوپ و ...) استفاده می‌شود، اما معمولاً اجزا با چشم و دست جداسازی می‌شوند. در این شرایط، استفاده از بینایی انسان مستلزم صرف زمان و هزینه است. علاوه بر آن به دلیل خستگی چشم، معیارهای متفاوت افراد و خطای دید، گاهی به نتایج ارزیابی متغیر و در نتیجه غیراستاندارد می‌انجامد. با توجه به مشکلات ارزیابی بصری و انسانی، می‌توان از بینایی ماشین به‌عنوان جایگزین مناسبی برای بینایی انسان استفاده کرد. از مهم‌ترین مزایای سامانهٔ بینایی ماشین، افزایش دقت و سرعت با هزینهٔ کم و در مجموع بازدهی بالاست، و بدین ترتیب این روش می‌تواند جایگزینی برای شمارش دستی و بازرسی نمونه های بذر باشد.

با استفاده از سامانهٔ بینایی ماشین، که بر اساس بررسی خودکار تصاویر و تجزیه و تحلیل آنها با روش‌های پردازش تصویر عمل می‌کند، مدت زمان نمونه‌برداری، جداسازی،

شمارش و تعیین درصد شکستگی بذر گندم و ناخالصی‌های آن، حدود ۲۰ تا ۳۰ ثانیه به‌طول می‌انجامد. همین عمل به‌دست فرد متخصص بذر حدود ۴ تا ۵ دقیقه زمان لازم دارد، یعنی ۸ تا ۱۰ برابر زمانی که سامانهٔ بینایی ماشین لازم دارد. بنابراین، استفاده از این روش از لحاظ صرفه‌جویی در زمان مورد نیاز، دقت در اجرای کار و پایین آوردن هزینه‌ها توصیه می‌شود.

استفاده از فناوری بینایی ماشین و روش پردازش تصویر دیجیتال، در بیشتر محصولات کشاورزی از جمله کلزا، برنج، ذرت، گندم، جو و چاودار کاربرد دارد که در منابع مختلف (ساپیرستین[1] و همکاران، ۱۹۸۷؛ گوناسکاران[2] و همکاران، ۱۹۸۸؛ زایاس[3] و همکاران ۱۹۹۰ و ماجومدار[4] و جایاس[5] ۲۰۰۰) به آن اشاره شده است.

در پژوهشی، به‌منظور اصلاح عملکرد دستگاه پوست‌کن شلتوک و کاهش ضایعات برنج، سامانهٔ کنترل خودکار و بینایی ماشین ساخته و آزمایش شد. در این پژوهش 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 ۹۱/۸۱ درصد است (شاکر و همکاران، ۱۳۹۴).

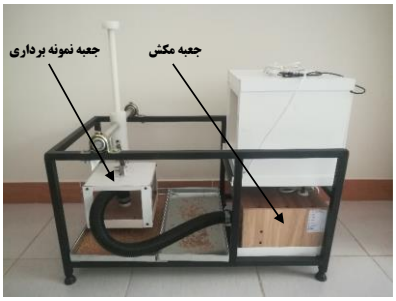
اجزای سامانهٔ بینایی ماشین

این سامانه از سه بخش جعبهٔ مکش، جعبهٔ نمونه‌برداری و جعبهٔ تصویربرداری تشکیل شده است (شکل ۱).

در جعبهٔ مکش از یک موتور ۱۶۰۰ وات با فن مکشی استفاده و یک دستگاه دیمر (مقاومت متغییر) برای تنظیم سرعت دورانی موتور و مقدار مکش تولیدی و یک تایمر برای

1. Sapirstein
2. Gunasekaran
3. Zayas
4. Majumdar
5. Jayas

تنظیم زمان قطع شدن مکش در جعبه به‌کار برده شده‌است (شکل ۲). مقدار مکش تولیدی از ۵۰- تا ۱۶۰- میلی‌متر جیوه قابل تنظیم است. برای اندازه‌گیری مقدار مکش تولید شده و واسنجی آن، از گیج استاندارد اندازه‌گیری مکش استفاده و برای سهولت اجرای آزمایش، برچسب نتایج حاصل روی جعبه نصب و مدرج گردیده‌است (شکل ۳).



شکل ۱- بخش‌های مختلف سامانهٔ بینایی ماشین

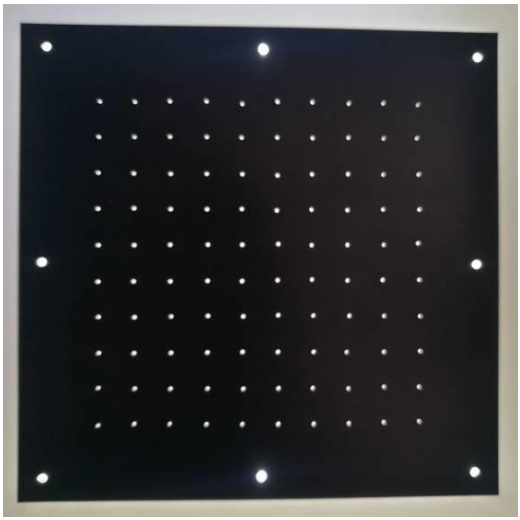
شکل ۲- موتور با فن مکشی به همراه دستگاه‌های دیمر و تایمر

شکل ۳- دستگاه اندازه‌گیری مقدار مکش و برچسب نتایج واسنجی آن

برای نمونه‌برداری، از یک جعبه با چهارچوب چوبی به ابعاد ۲۰ ×۲۰ × ۲ سانتی‌متر و دو صفحهٔ بذر فلزی استفاده شد. روی صفحهٔ بذر به فواصل ۱۵ میلی‌متر، سوراخ‌هایی به قطر ۱ و ۱/۵ میلی‌متر ایجاد شد (دو صفحهٔ بذر روی چهارچوب چوبی قابل تعویض بودند). در مجموع ۱۰۰ سوراخ روی صفحهٔ بذر تعبیه شد. رنگ مشکی مات که مناسب زمینهٔ تصویربرداری است، برای رنگ‌آمیزی روی صفحه بذر انتخاب شد (شکل ۴). جعبهٔ نمونه‌برداری با استفاده از دو فنر کششی و اتصالات آن به شاسی متصل شد. بر اساس مکانیزمی که به‌کاربرده شد، تمام حرکات جعبه نمونه‌برداری محدود و فقط دو حرکت عمودی و دورانی حول محور متصل به شاسی برای آن ایجاد می‌شد. دو جعبهٔ مکش و نمونه‌برداری با یک لولهٔ خرطومی قابل انعطاف به یکدیگر متصل شدند.

پس از روشن کردن موتور و ایجاد مکش در جعبهٔ نمونه‌برداری، با فشاردادن جعبه به سمت پایین روی سینی بذر و نگه‌داشتن آن به مدت ۲ تا ۳ ثانیه، نمونه‌ای از بذر گرفته شد (بذرها روی سوراخ‌های صفحه بذر می‌چسبیدند). پس از آن با برداشتن فشار و با نیروی فنرهای تعبیه شده، جعبه 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 گرفت (شکل ۱). در این مرحله، با دوربین دیجیتال یک تصویر از صفحهٔ بذر به‌صورت دستی

تهیه شد. پس از آن با قطع مکش تولید شده (زمان آن با تایمر قابل تنظیم است)، نمونهٔ بذر در سینی دیگری ریخته می‌شود.



شکل ٤- صفحه بذر

جعبهٔ تصویربرداری به‌نحوی ساخته شد که روشنایی آن با لامپ فلورسنت تامین و با برخورد نور لامپ به صفحه وسط و انعکاس آن به سمت پایین، نور به طور غیرمستقیم و یکنواخت روی بذرها منعکس می‌شد. یک دوربین دیجیتال (مدل Logitech – C170 با وضوح تصویر ۵ مگا پیکسل، ساخت چین) در بالای جعبه در ارتفاع ۳۰ سانتی‌متری تعبیه شد، بنابراین، از یک ارتفاع ثابت تصویرها برداشته شد و لرزش یا خطایی در تصاویر به‌وجود نیامد (شکل ۵).

شکل ۵- جعبه تصویربرداری

ارزیابی فنی سامانه بینایی ماشین

برای ارزیابی سامانهٔ بینایی ماشین، از گندم رقم ترابی (آبی) و رقم آذر (دیم) (شکل ۶) متداول در استان فارس استفاده شد که مشخصات فیزیکی آنها در جدول ۱ ارائه شده است. در هر دو نوع گندم، عملکرد دستگاه مکش، با دو صفحه بذر (با قطر سوراخ‌های ۱ و ۱/۵ میلی‌متر) و چهار مقدار مکش (۸۰- ، ۱۰۰- ، ۱۲۰- و ۱۳۰- میلی‌متر جیوه) ارزیابی گردید. 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، صفحه 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. نتایج ارزیابی فنی نشان داد که مناسب‌ترین تیمار برای گندم رقم ترابی، صفحه بذر دارای سوراخ‌های ۱ میلی‌متری و مکش ۱۰۰- میلی‌متر جیوه است. در این صفحهٔ بذر، میزان بذرهای جدا شده و به هم چسبیده به‌ترتیب ۹۵/۳۱ و ۴/۶۹ درصد بود (شکل ۷). برای رقم آذر، صفحهٔ بذر دارای

سوراخ‌های ۱ میلی‌متری و مکش ۱۲۰- میلی‌متر جیوه مناسب‌ترین تیمار به‌دست آمد. در این صفحهٔ بذر، میزان بذرهای جدا شده و به هم چسبیده به‌ترتیب ۹۱/۶ و ۸/۴ درصد بود (شکل ۸).

جدول ۱- مشخصات فیزیکی دو رقم گندم مورد ارزیابی

نوع گندم	طول (میلی‌متر)	عرض (میلی‌متر)	ضخامت (میلی‌متر)	وزن هزار دانه (گرم)
رقم ترابی	۲/۷	۳/۸۸	۲/۷۶	۴۷/۶۱
رقم آذر	۷/۳۸	۲/۸۸	۲/۵۲	۳۶/۱۹

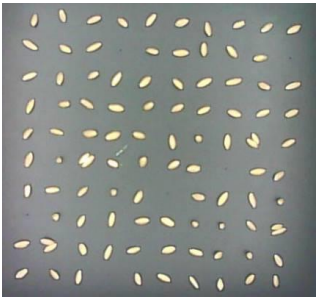
شکل ٦- تصاویر نمونه‌های گندم رقم ترابی و رقم آذر

صفحه بذر با سوراخ ۱/۵ میلیمتر

صفحه بذر با سوراخ ۱ میلیمتر

شکل ۷- نمونهٔ تصویرهای تهیه شده برای گندم رقم ترابی در مکش ۱۰۰- میلی‌متر جیوه

صفحه بذر با سوراخ ۱/۵ میلیمتر



صفحه بذر با سوراخ ۱ میلیمتر

شکل ۸- نمونهٔ تصویرهای تهیه شده برای گندم رقم آذر در مکش ۱۲۰- میلی‌متر جیوه

تصویر تهیه شده با دوربین دیجیتال به محیط نرم‌افزار متلب منتقل شد و با استفاده از روش‌های پردازش تصویر و توابع موجود در نرم‌افزار، الگوریتم تعیین میزان شکستگی، ناخالصی و تعداد بذر گندم کدنویسی و استفاده گردید. به‌طور کلی، برای کدنویسی الگوریتم پردازش تصویر، از ویژگی‌های شکل، رنگ و بافت اشیا استفاده می‌شود. در این سامانه دو نوع الگوریتم تهیه و بررسی شد.

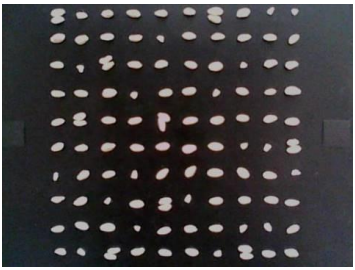
در الگوریتم اول، که فقط برای تعیین میزان شکستگی و تعداد بذر گندم کدنویسی شد، از ویژگی‌های شکل بذر گندم (مساحت) بهره‌گیری و در فضای سیاه و سفید (باینری) تهیه گردید. برای این منظور، ابتدا تعداد کل بذرهای موجود در تصویر و تعداد بذرهای شکسته شمارش و پس از آن نسبت تعداد بذرهای شکسته به تعداد کل بذرها محاسبه و حاصل آن در عدد ۱۰۰ ضرب شد. بذرهایی که اندازهٔ سطح آنها (تعداد پیکسل‌های موجود در سطح بذر) کوچک‌تر از سه چهارم یک بذر کامل بود، به عنوان بذر شکسته در نظر گرفته شد (فاروک و اسلام ، ۱۹۹۵).

برای تعیین مساحت بذر، ابتدا ۱۰۰ بذر گندم روی یک صفحه مشکی مات، با فاصله از یکدیگر چیده شد. مساحت آنها بر حسب تعداد پیکسل به دست آمد و میانگین آنها محاسبه شد. پس از آن با استفاده از میانگین مساحت بذر گندم، آستانه‌های مورد نیاز در الگوریتم وارد شد. این میانگین برای گندم رقم ترابی برابر با ۲۸۷ پیکسل بود. سپس الگوریتم تعیین میزان شکستگی و تعداد بذر گندم کدنویسی و بررسی گردید.

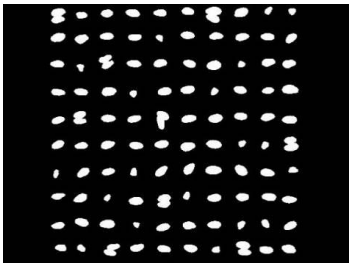
برای ارزیابی و اعتبارسنجی الگوریتم و تعیین دقت آن، به‌طور تصادفی ۱۰ نمونه از بذر گندم (به‌عنوان ۱۰ تکرار) انتخاب و در هر نمونه میزان شکستگی بذر و تعداد واقعی بذرهای سالم، به‌صورت چشمی و با دست (به‌عنوان روش رایج) جدا و محاسبه شد. پس از آن با تصویربرداری از همان نمونه و اجرای الگوریتم، تعداد و میزان شکستگی بذر تعیین و با تعداد واقعی مقایسه و سپس دقت الگوریتم بر حسب درصد محاسبه شد.

مراحل اجرای الگوریتم تعیین میزان شکستگی و تعداد بذر گندم رقم ترابی، در شکل ۹ ارائه شده است. در این الگوریتم ابتدا تصویر رنگی به سیاه و سفید تبدیل شد و سپس با

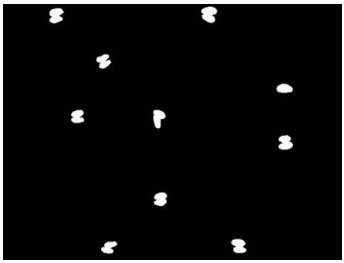
برچسب‌گذاری، تعداد کل بذرها در تصویر شمارش شد. پس از آن با آستانه‌گذاری لازم (بر اساس تعداد پیکسل‌های سطح یک بذر گندم سالم)، تعداد بذرهای شکسته، سالم و دوتایی تعیین شد و در نهایت میزان شکستگی و تعداد بذرهای سالم محاسبه و ارائه شد.



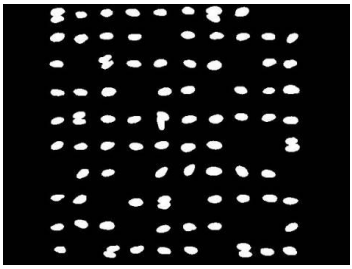
۱- تصویر رنگی



۲- تصویر سیاه و سفید



۳- تصویر بذرهای دوتایی



۴- تصویر بذرهای سالم و دوتایی

شکل ۹- مراحل مختلف اجرای الگوریتم تعیین درصد شکستگی و تعداد بذر گندم

نتایج اعتبارسنجی الگوریتم، در بررسی ۱۰ تصویر تهیه شده از بذر گندم رقم ترابی (به‌عنوان ۱۰ تکرار) نشان داد که میانگین دقت الگوریتم در تعیین تعداد بذر گندم برابر با

۹۸/۷۶ درصد و در محاسبهٔ میزان شکستگی بذر گندم برابر با ۸۵/۳۳ درصد است. با توجه به اینکه الگوریتم تهیه شده، برای گندم رقم آذر نیز قابل استفاده و اجرا بود و فقط با تغییر آستانه‌گذاری تعداد پیکسل‌های سطح یک بذر گندم سالم، می‌توان این الگوریتم را برای گندم رقم آذر نیز به‌کار برد، بنابراین نتایج اعتبارسنجی فقط برای رقم ترابی گزارش شد.

در الگوریتم دوم، علاوه بر میزان شکستگی و تعداد بذر گندم، میزان ناخالصی نیز قابل تعیین بود. در این الگوریتم علاوه بر ویژگی‌های شکل بذر گندم (طول، عرض، محیط و مساحت) از ویژگی‌های رنگ بذر نیز استفاده شد و در دو فضای سیاه و سفید و رنگی کدنویسی شد. برای تشخیص دانه‌های دوتایی نیز از خصوصیات مرزی شیء استفاده شد.

برای اجرا و ارزیابی الگوریتم فوق، چون در نمونه‌های گندم ناخالصی وجود نداشت یا ناخالصی به مقدار کمی موجود بود، بنابراین به صورت دستی ناخالصی به نمونه‌ها اضافه و تصویری از آن تهیه شد (شکل ۱۰).

شکل ۱۰- نمونهٔ گندم با دانه‌های شکسته و ناخالصی

این الگوریتم به گونه‌ای تهیه شد که پس از اجرا علاوه بر اینکه تعداد دانه‌های سالم، شکسته، دوتایی و ناخالصی را مشخص نماید، آنها را با برچسب نیز علامت‌گذاری کند (شکل ۱۱). دقت الگوریتم با ۱۰ تصویر (مشابه شکل ۱۰ با تغییر تعداد دانه‌های سالم، شکسته، دوتایی و ناخالصی) ارزیابی و مشخص گردید که دقت آن نزدیک به ۱۰۰ درصد است.

شکل ۱۱- اجرای الگوریتم تعیین میزان شکستگی، ناخالصی و تعداد بذر گندم

ارزیابی اقتصادی سامانهٔ بینایی ماشین

به منظور ارزیابی اقتصادی سامانهٔ بینایی ماشین، از روش بودجه‌بندی جزئی استفاده شد. این روش در مواقعی به کاربرده می‌شود که مدیر واحد تولیدی تغییری در شیوهٔ مدیریت تولید اعمال می‌کند. هدف بودجه‌بندی جزئی عبارت است از سازماندهی و تنظیم اطلاعات به‌نحوی که بتوان با استفاده از آن به تصمیم‌گیری خاصی در ادارهٔ امور تولید دست پیدا کرد.

نتایج ارزیابی اقتصادی نشان داد که هزینهٔ تعیین خلوص ۴۰۰ عدد بذر (۴ بسته ۱۰۰ تایی) گندم با استفاده از سامانهٔ بینایی ماشین در مقایسه با روش معمول در حالت اول (استفاده از نیروی کار بدون در نظر گرفتن خستگی فرد) حدود ۸۰ درصد کاهش و در حالت دوم (استفاده از نیروی کار با در نظر گرفتن خستگی فرد) حدود ۸۵ درصد کاهش داشته است. از این رو اتخاذ تصمیم در مورد جایگزینی سامانهٔ بینایی ماشین با روش معمول از نظر هزینه‌ها دارای توجیه اقتصادی است. کاربرد سامانهٔ بینایی ماشین علاوه بر کاهش هزینه‌ها، مزیت‌های دیگری از جمله کاهش زمان مورد نیاز به‌میزان یک نهم تا یک دوازدهم و کاهش درصد خطا نیز برخوردار است.

نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج اعتبارسنجی الگوریتم، می‌توان گفت که به‌جای محاسبهٔ میزان شکستگی، ناخالصی و تعداد بذر گندم، با تصویربرداری و به‌کارگیری سامانهٔ بینایی ماشین، این سه فاکتور با دقت نزدیک به ۱۰۰ درصد قابل محاسبه بود. مدت زمان لازم برای نمونه‌برداری، جداسازی، تعیین میزان شکستگی، ناخالصی و تعداد بذر گندم در این سامانه حدود ۳۰ ثانیه به طول می‌انجامد که در مقایسه با روش معمول و استفاده از فرد متخصص و بینایی انسان، زمان مورد نیاز حدود یک دهم کاهش یافت. نتایج بررسی اقتصادی نیز نشان داد که اتخاذ تصمیم در مورد جایگزینی سامانهٔ بینایی ماشین با روش معمول از نظر هزینه‌ها دارای توجیه اقتصادی است.

پیشنهادها

پیشنهاد می‌شود که این سامانه برای سایر ارقام مهم گندم آبی و دیم و همچنین برای بذرهای با اندازه‌های مختلف، از نظر فنی و اقتصادی ارزیابی شود. ضمناً، با توجه به اینکه

بذرهای مختلف ابعاد هندسی مشخصی ندارند، بنابراین می‌توان خصوصیات فیزیکی (طول، عرض، محیط و مساحت) آنها را با به‌کارگیری این سامانه تعیین و در تحقیقات به‌کار گرفت.

فهرست منابع

شاکر، م. مینایی، س. خوش‌تقاضا، م. ه. بناکار، ا. و جعفری، ع. ۱۳۹۴. به‌کارگیری ماشین بینایی به‌منظور اصلاح عملکرد و کاهش ضایعات در دستگاه پوست‌کن شلتوک. مجله تحقیقات مهندسی سامانه ها و مکانیزاسیون کشاورزی. ۱۶(۶۵): ۴۷-۶۴.

قادری‌فر، ف. و سلطانی، ا. ۱۳۸۹. کنترل و گواهی بذر. انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد.

Farouk, S. M., and 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.

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

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

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

Zayas, I., Converse, H., and Steele, J. 1990. Discrimination of whole from broken corn kernels with image analysis. Transactions of the ASAE 33(5):1642–1646.