Archive of SID

نشریه پژوهش‌های مکانیک ماشین‌های کشاورزی
جلد 7/ شماره 2/ پاییز و زمستان 1397 (21-29)

برآورد شاخص‌های دقیق‌کاری با استفاده از سامانهٔ صوتی

هادی کریمی[1*]، حسین نوید[2]، اصغر محمودی[3] و بهرام بشارتی[4]

چکیده

در این پژوهش، یک سامانهٔ صوتی برای برآورد آنلاین شاخص‌های عملکردی دقیق‌کاری پیشنهاد شده است. روش بر اساس استفاده از افزایش دامنه سیگنال صوتی در برخورد هر بذر با صفحه برخورد طرح‌ریزی شده است. سیگنال صوتی در هر برخورد با عبور از آستانه صوتی تعریف‌شده، به‌عنوان یک رویداد ثبت‌شده و وارد الگوریتم برآورد شاخص‌های عملکردی دقیق‌کاری سامانهٔ صوتی می‌شود. برای ارزیابی سامانه، سکوی تغذیه مخصوصی طراحی شد که امکان اعمال فاصله‌های مختلف بذور را در سامانهٔ پیشنهادی فراهم می‌کرد. در طول آزمایش، بذرها می‌توانستند با شاخص‌های دقیق‌کاری از قبل تعیین‌شده روی تسمه سکوی تغذیه قرار گیرند. با حرکت تسمه در سکوی تغذیه، بذرهای سقوط‌کرده از انتهای تسمه به‌ترتیب به صفحه‌ای فولادی برخورد کردند و صدای ایجادشده از برخورد، توسط میکروفن ثبت شد. صدای بذر مورد پردازش و فاصله آن نسبت به بذر قبلی با توجه به سرعت شبیه‌سازی‌شده تسمه محاسبه شد. فواصل به دست آمده بر مبنای فاصله تئوری مطابق استاندارد در سه بازه به‌صورت ماتریس، دسته‌بندی و شاخص‌های کپه‌کاری، نکاشت، دقت در فواصل و کیفیت تغذیه با توجه به روابط به‌صورت همزمان محاسبه شدند. با توجه به برآورد مناسب شاخص‌های از پیش تعیین شده در سکوی تغذیه توسط سامانهٔ صوتی و همچنین ضریب تبیین حدوداً ۹۹ درصدی بین داده‌های فاصله‌ای سکوی تغذیه و تخمین زده شده برای فواصل اعمالی، توانایی سامانه در برآورد شاخص‌های دقیق‌کاری بالا ارزیابی شد.

واژه‌های کلیدی: دقیق‌کاری، سیگنال صوتی، سامانهٔ صوتی، سکوی تغذیه.

ارجاع: کریمی ه، نوید ح، محمودی ا، و بشارتی ب. ۱۳۹۷. برآورد شاخص‌های دقیق‌کاری با استفاده از سامانهٔ صوتی. نشریه پژوهش‌های مکانیک ماشین‌های کشاورزی. ۷(۲): ۲۱-۲۹.

۱- پژوهشگر پسادکتری، گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی دانشگاه تبریز.
۲- دانشیار گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز.
۳- دانشیار گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز.
۴- دانشجوی دکتری، گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران.
*** نویسنده مسئول**: **hadi.karimi@tabrizu.ac.ir**
تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۵/۲۸ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۲/۰۶

www.SID.ir

Archive of SID

مقدمه

با تبدیل‌شدن کشاورزی سنتی به کشاورزی مکانیزه، استفاده از دقیق‌کارها برای کاشت مکانیزه مورد توجه قرار گرفته است. دقیق‌کارها، دانه‌های بذر را در فواصل معین و به‌صورت جداگانه در عمق و شرایط یکسان قرار می‌دهند. این شرایط موجب می‌شود که تراکم مناسب بوته در هکتار فراهم گردد که علاوه بر افزایش عملکرد محصول به دلیل عدم وجود رقابت بین بوته‌ها در نواحی متراکم، از مصرف بیش از اندازهٔ نهاده‌هایی چون بذر، آب، کود و سموم علف‌کش جلوگیری به عمل آمده و همچنین باعث می‌شود که عملیات داشت و برداشت در زمان کمتر و با کیفیت بهتری انجام پذیرد. بنابراین، افزایش دقت فاصله‌گذاری بین بذرها تأثیر معنی‌داری بر کیفیت و بازدهی محصولات کشاورزی دارد. لازمهٔ این امر، توسعهٔ روش‌های سریع و قابل اطمینان برای سنجش دقت توزیع بذر در ارزیابی آزمایشگاهی دقیق‌کارها است. یکی از متداول‌ترین روش‌های آزمایشگاهی برای ارزیابی معیارهای عملکردی کارنده‌ها، تسمهٔ گریس‌اندود می‌باشد، که به علت آسانی و دقت خوب آن در سطح وسیعی توسط محققان به‌کار برده می‌شود (Yasir *et al.*, 2012; Anantachar *et al.*, 2010; Zhan *et al.*, 2010). در این روش، کارنده بر روی یک شاسی ثابت در آزمایشگاه بر روی تسمه آغشته به گریس قرار می‌گیرد. بذرهای خروجی از موزع بر روی تسمه در حال حرکت برخورد و بعد از توقف موقعیت هر بذر روی تسمه شناسایی می‌گردد. یکی از محدودیت‌های این روش، طول تسمه می‌باشد که منجر به محدودشدن داده‌های ثبت شده می‌گردد. محدودیت دیگر زمان‌بر بودن اندازه‌گیری فواصل بین بذرها روی تسمه است و در نهایت، اینکه امکان لغزش و پرش بذر روی تسمه به ویژه در سرعت‌های بالای تسمه وجود دارد (Navid *et al.*, 2011). Kocher *et al.* (1998)، Lan *et al.* (1999)، Panning *et al.* (2000) و Raheman & Singh (2003) از جمله پژوهشگرانی هستند که به ارزیابی کارنده‌ها با استفاده از حسگرهای نوری پرداختند. Kocher *et al.* (1998) محدودیت‌هایی چون عدم توانایی سامانه برای حس بذرها با قطر کوچک‌تر از ۳ میلی‌متر و نیاز به تغییر برنامه میکروکنترلر با تغییر نوع بذر را برای سامانه خود تشخیص دادند.

اخیراً با توجه به پیشرفت‌هایی که در زمینه ماشین بینایی صورت گرفته است، استفاده از پردازش تصویر برای ارزیابی کارنده‌ها مورد توجه پژوهشگران قرار گرفته است. Karayel *et al.* (2006) از یک سامانه دوربین سرعت بالا برای ارزیابی یکنواختی توزیع بذر و سرعت سقوط بذرها در یک خطی‌کار استفاده کردند. این سامانه از یک دوربین دیجیتالی با سرعت ۴۰۵۰۰ فریم در ثانیه برای ثبت بذرهای خروجی و تخمین فواصل استفاده می‌کرد. مقایسه این سامانه با تسمهٔ گریس‌اندودشده همبستگی قوی ۹۶% و ۹۷% را به‌ترتیب برای بذرهای گندم و سویا نشان داد. Navid *et al.* (2011) برای تعیین شاخص‌های عملکردی موزع استوانه‌ای قائم روش پردازش تصاویر بذرهای در حال ریزش از موزع را ارائه کردند. در این روش، از دوربین عکاسی دیجیتالی برای تصویربرداری استفاده شد. عملکرد این سامانه در تشخیص فاصله بین بذرها خوب ارزیابی شد. همچنین، نتایج این پژوهش نشان داد که سامانه پردازش تصویر به دلیل استواربودن الگوریتم آن بر مبنای تشخیص رنگ، قادر به شناسایی بذرهای شکسته نیست.

در پژوهشی که توسط Karimi *et al.* (2012) انجام گرفت، توانایی یک سامانهٔ صوتی در شناسایی بذرهای آسیب‌دیده و تعیین درصد شکستگی ناشی از عملکرد ناصحیح موزع دقیق‌کارها با پایه‌گذاری یک سامانه هوشمند بر مبنای سیگنال‌های صوتی مورد سنجش قرار گرفت. نرخ شناسایی شبکه عصبی پیشنهادی برای بذرهای سالم و بذرهای آسیب‌دیده به‌ترتیب ۹۹/۴۹ و ۱۰۰ درصد حاصل شد، که با توجه به نتایج، توانایی سامانهٔ صوتی در شناسایی بذرهای آسیب‌دیده بالا ارزیابی شد. در مورد به کار بردن صوت برای برآورد شاخص‌های دقیق‌کاری که موضوع این پژوهش می باشد تا کنون گزارشی دریافت نشده است و عمدتاً از صوت برای شمارش بذر (Goulden & Mason, 1958) و برای گروه‌بندی (Gasso-Tortajada *et al.*, 2010) استفاده شده است. استفاده از ویژگی صوتی که حسگرهای بسیار ارزان‌قیمتی داشته و کمتر تحت تأثیر عوامل محیطی قرار می‌گیرند، روش مناسبی در این زمینه به نظر می‌رسد. هدف از طرح حاضر، توسعهٔ روشی سریع، آسان، کم‌هزینه، غیرمخرب و قابل اطمینان بر پایه پردازش صوت انعکاس‌یافتهٔ حاصل از برخورد بذور با سطح موردنظر برای به‌دست آوردن فاصله بین بذرهاست تا بتوان بر اساس آن شاخص‌های عملکردی دقیق‌کاری را

www.SID.ir

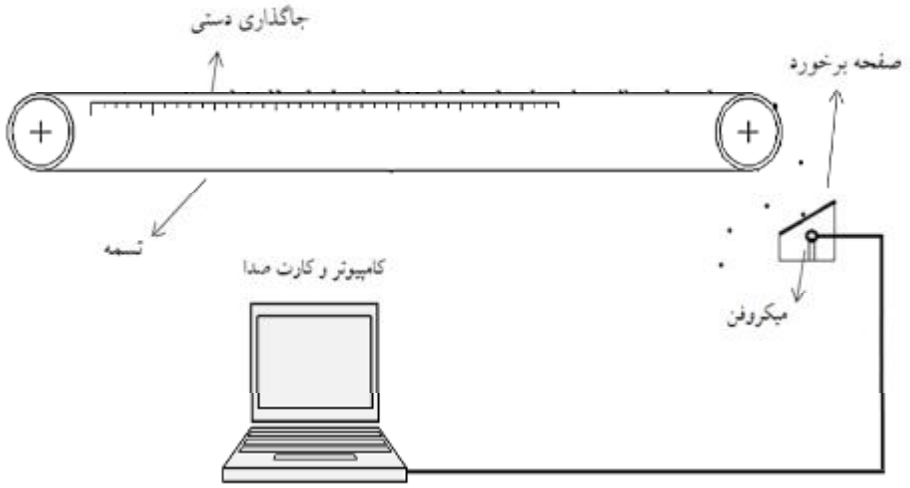
Archive of SID

تعیین کرد. به همین جهت، برای دستیابی به یک روش اقتصادی و کارآمد در این زمینه سامانهٔ صوتی توسط این پژوهشگران پیشنهاد گردید.

مواد و روش‌ها

سامانه آزمایشگاهی

برای ارزیابی طرح پیشنهادی، یک سامانه آزمایشگاهی مخصوص طراحی و ساخته شد. سامانه به گونه‌ای طراحی شده بود که نمونه‌های بذرها بتوانند تحت الگوهای فاصله‌ای از قبل تعیین‌شده بر روی صفحه فولادی سقوط کنند. شکل ۱، طرحواره‌ای از سامانه طراحی‌شده را نشان می‌دهد. این سامانه از دو بخش اصلی، شامل سکوی تغذیه و سامانهٔ صوتی تشکیل شده است.



شکل ۱- سامانه طراحی‌شده برای ارزیابی روش صوتی

سکوی تغذیه

برای ارزیابی سامانهٔ صوتی ابداع‌شده از سکوی تغذیه‌ای با یک تسمه نقاله لاستیکی بدون انتها به طول ۱۱ متر و عرض ۴۰ سانتی‌متر، استفاده گردید. تسمه بر روی دو غلتک استوانه‌ای که در دو انتهای سازه نگهدارنده سوار شده بودند، قرار داده شد. حرکت تسمه نقاله از طریق تسمه و پولی از یک موتور الکتریکی AC با توان ۰/۵ اسب بخار تأمین می‌شد. موتور الکتریکی حرکت‌دهندهٔ تسمه مجهز به مبدل (Inverter) بود و تغییر سرعت تسمه را که همان سرعت شبیه‌سازی شدهٔ حرکت کارنده در مزرعه بود، به‌صورت دلخواه امکان‌پذیر می‌کرد. برای جلوگیری از حرکت جانبی احتمالی بذرهای قرار داده شده روی تسمه، یک مسیر باریک با عرضی کمی بزرگ‌تر از قطر متوسط بذرها در روی تسمه طراحی شد. با این شرایط، سکوی تغذیه این امکان را فراهم ساخت که بذرها بتوانند با الگوی فاصله‌ای دلخواه روی تسمه قرار گیرند و کار تغذیه سامانهٔ صوتی با سرعت از قبل تعیین‌شده به خوبی انجام گیرد.

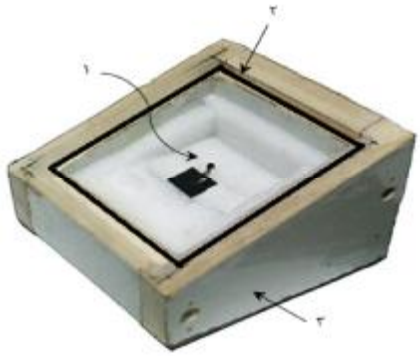
سامانهٔ صوتی

این سامانه از یک عدد میکروفن، محفظه آکوستیک، صفحه برخورد، رایانه شخصی و سیم‌های رابط تشکیل شده بود. در انتخاب حسگر صوتی با توجه به عواملی نظیر عدم تماس با محصول، حساسیت بالا، قیمت پایین، عدم نیاز به کالیبراسیون از میکروفن خازنی یونیورسال (MIC-Universal) مورد استفاده در گوشی‌های تلفن همراه استفاده شد. بر مبنای کیفیت صوت خروجی و محدودهٔ دامنهٔ قابل اندازه‌گیری آن، یک صفحه فولادی به ابعاد ۱۰۰×۱۰۰mm با ضخامت ۶ mm به‌عنوان سطح برخورد بذرها انتخاب گردید. سامانهٔ صوتی باید به گونه‌ای طراحی می‌شد که در طول داده‌برداری هر بذر فقط یک بار به صفحه برخورد نماید. با آزمایش‌های مقدماتی صورت گرفته بر مبنای سعی و خطا بهترین زاویه برای اصابت بذرها به صفحهٔ فولادی ۳۰ درجه نسبت به افق شناسایی شد. با قرارگرفتن صفحه‌ای فولادی در این زاویه از هر بذر فقط یک سیگنال صوتی دریافت گردید. برای محدودکردن

www.SID.ir

Archive of SID

اثر نویز خارجی و صدای ناشی از عوامل خارجی یک محفظه آکوستیکی مطابق شکل ۲ طراحی و ساخته شد. در ساخت محفظه از مواد عایق صوتی مانند چوب، یونولیت و پشم شیشه استفاده شد. میکروفن به گونه‌ای در داخل محفظه ثابت شده بود که دقیقاً در زیر صفحه برخورد قرار داشته باشد و محفظه آکوستیک به‌صورت پله‌ای با زاویه ۳۰ درجه ساخته شده است تا به این ترتیب صفحه برخورد در جای خود با زاویه مناسب محکم گردد. برای عایق کردن بیشتر محفظه و همچنین جلوگیری از لرزش احتمالی صفحه برخورد در جای خود از چسب سیلیکون برای بستن درز بین محفظه و صفحه برخورد استفاده شده است. سیگنال صوتی حاصل از برخورد نمونه‌ها توسط سیم‌های رابط و از طریق یک فیش مونو به کارت صوتی مدل اینتل یک رایانه شخصی منتقل می‌شد. در سامانهٔ صوتی پیشنهادی نمونه‌برداری ۱۶بیتی با بالاترین فرکانس قابل دسترسی در کارت صوتی به میزان ۴۴۱۰۰ هرتز تنظیم گشت. میکروفون دارای فرکانس کاری تا ۲۰ کیلوهرتز است. سامانه پردازش در این سامانه لپ‌تاپ Gateway مدل NV59 با پردازنده سه هسته‌ای Intel و ۴ گیگابایت RAM بود.



شکل ۲- سامانهٔ صوتی تشخیص بذر
محل قرارگیری میکروفن خازنی (۱) و صفحه برخورد بذر (۲)
در محفظه آکوستیک (۳)

طرز کار سامانه پیشنهادی

در این پژوهش، سامانه‌ای بر پایهٔ استفاده از تکنیک‌های صوتی برای دست‌یابی به فواصل بذرهای درحال ریزش و پارامترهای عملکردی دقیق‌کاری ابداع شد. تکنیک مورد استفاده در این سامانه براساس افزایش دامنه سیگنال صوتی در برخورد هر بذر با صفحه برخورد طرح‌ریزی شد. به این ترتیب که میکروفن سیگنال صوتی دریافتی را به‌صورت ولتاژ تبدیل و کارت صوتی کامپیوتر با توجه به فرکانس تنظیمی، نمونه‌برداری را از این سیگنال صوتی انجام می‌دهد. در برخورد هر بذر با صفحه فولادی یک افزایش در ولتاژ ورودی (دامنه سیگنال صوتی) به کارت صوتی رایانه منتقل می‌شود که از این افزایش دامنه برای شناسایی بذر در طول داده‌برداری استفاده گردید. برای استفاده از این خاصیت در جهت ارزیابی دقیق‌کارها از جعبه‌ابزار data acquisition نرم‌افزار متلب (MATLAB) استفاده شده است. این جعبه ابزار دارای امکاناتی برای کنترل داده‌برداری از سخت‌افزار کارت صوتی می‌باشد. نرم‌افزار متلب را می‌توان به گونه‌ای تنظیم کرد که در لحظه برخورد با بالارفتن ولتاژ از مقداری خاص، از سیگنال صوتی حاصل از برخورد نمونه‌برداری انجام دهد. به عبارت دیگر، شرایط تعیین‌شدهٔ سیگنال صوتی دریافتی از میکروفن (آستانه صوتی تعریف‌شده برای نرم‌افزار متلب)، به‌عنوان راه‌انداز نرم‌افزار متلب برای داده‌برداری از سخت‌افزار کارت صوتی عمل می‌کند. برای به‌دست آوردن فواصل بین بذور به زمان داده‌برداری کارت صوتی برای هر برخورد بذر نیاز داریم که این زمان برای ما با توجه به امکانات نرم‌افزار متلب قابل استخراج است. با توجه به ثبت زمان برخورد برای هر بذر، برنامه‌ای برای استخراج فاصله‌های زمانی برای هر دو برخورد متوالی در نرم‌افزار متلب نوشته شد، که فلوچارت مربوطه در شکل ۳ نشان داده شده است. در ادامه، با توجه به فاصله زمانی بین هر بذر (dt) فاصله زمانی بین هر برخورد و سرعت پیشروی از پیش تعیین‌شده دستگاه دقیق‌کار (V)، مطابق معادله (۱) فاصله بین هر دو بذر متوالی (dx) به‌دست می‌آید:

$$dx = V.dt \qquad (۱)$$

برای برآورد شاخص‌های دقیق‌کارهای بر مبنای فاصله تئوری، فاصله‌های به‌دست آمده در هر مرحله مطابق استاندارد ISO به سه بازه تقسیم می‌شدند. در بازهٔ اول، فواصل بین صفر تا نصف فاصلهٔ تئوری و در بازهٔ دوم، فواصل بین نصف تا ۱/۵ برابر فاصلهٔ تئوری و در بازهٔ سوم، فواصل بزرگ‌تر از ۱/۵ برابر فاصله تئوری قرار می‌گرفتند. برنامه در ادامه به گونه‌ای تهیه شده بود که فاصله به‌دست آمده از برخورد بذرها در هر مرحله بلافاصله در سه ماتریسی که در این سه بازه تعریف شده بود، قرار گیرد (شکل ۳). با قرارگیری فاصله‌ها در ماتریس مربوطه، برنامه

www.SID.ir

Archive of SID

به‌صورت همزمان بر اساس معادلات (۲)، (۳)، (۴) و (۵) شاخص‌های عملکردی موزع دقیق‌کار را به‌صورت همزمان محاسبه می‌کرد. مطابق استاندارد ISO (سال ۱۹۸۴ شماره‌ی ۷۲۵۶/۱) و استاندارد BS (شماره‌ی ۶۹۷۸ سال ۱۹۸۸) شاخص‌های مورد سنجش در ارزیابی عملکرد دقیق‌کارها به‌صورت زیر می‌باشند:

شاخص کپه‌کاری (Multiple index): کپه‌کاری زمانی اتفاق می‌افتد که بیش از یک بذر در یک سلول موزع جای‌گیری نماید. Singh *et al.* (2005) از رابطهٔ (۲) برای تعیین این شاخص در موزع پنوماتیکی برای کاشت بذرهای پنبه استفاده کردند. که در آن I_{mult}، شاخص کپه‌کاری برحسب درصد؛ n_1، تعداد فواصل مساوی و کوچک‌تر از نصف فاصلهٔ تنظیمی و N، تعداد کل فواصل مورد اندازه‌گیری می‌باشد.

$$I_{mult}=\frac{n_1}{N} \times ۱۰۰ \qquad (۲)$$

شاخص نکاشت (Miss index): نکاشت موقعی است که سلول موزع نتوانسته باشد بذری را به خود بگیرد. رابطهٔ شاخص نکاشت به شرح زیر می‌باشد، که در آن I_{miss}، شاخص نکاشت بر حسب درصد؛ n_2، تعداد فواصل بزرگ‌تر از ۱/۵ برابر فاصلهٔ تنظیمی و N، تعداد کل فواصل مورد اندازه‌گیری می‌باشد.

$$I_{miss}=\frac{n_2}{N} \times ۱۰۰ \qquad (۳)$$

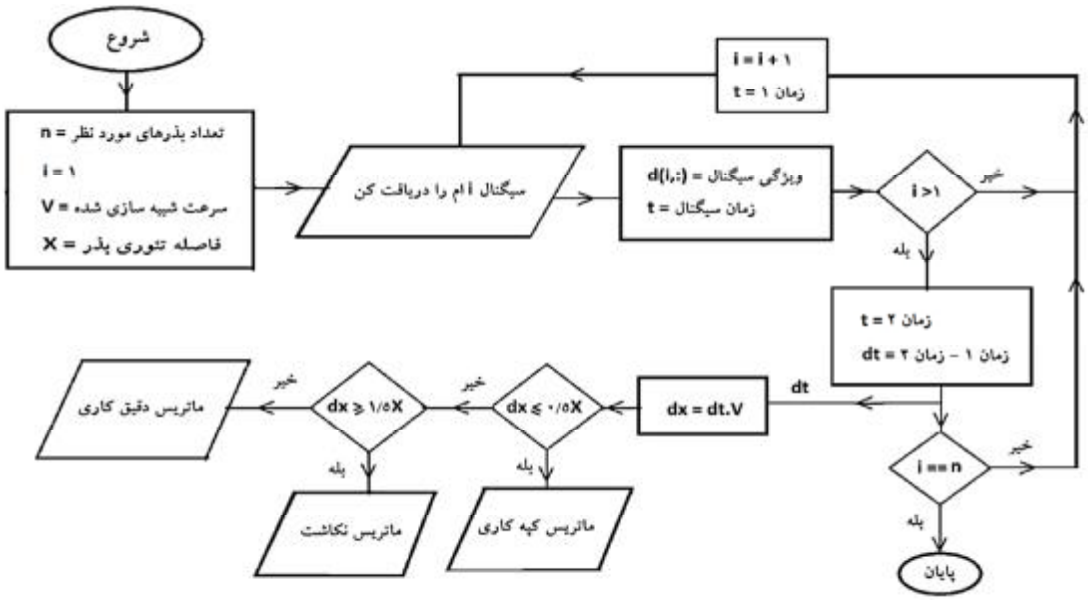
دقت در فواصل (Precision in spacing): دقت در یک کارنده را بر اساس فاصلهٔ نظری کاشت تعریف می‌کنند. این مؤلفه تغییرپذیری (ضریب تغییرات) در فواصل را که در بازهٔ نرمال قرار دارند، اندازه می‌گیرد. برای محاسبهٔ دقت از رابطهٔ (۴) استفاده می‌شود که در آن: I_p، شاخص دقت بر حسب درصد؛ S_d، انحراف استاندارد فواصلی که بین نصف و ۱/۵ برابر فاصلهٔ تنظیمی قرار دارند؛ و S، فاصلهٔ تنظیمی می‌باشد.

$$I_p = \frac{S_d}{S} \times ۱۰۰ \qquad (۴)$$

شاخص کیفیت تغذیه (Quality of feed index): طبق تعریف، این شاخص درصد فواصلی را که بین نصف و ۱/۵ برابر فاصلهٔ تنظیمی است، بیان می‌کند (معادله (۵)). این شاخص جایگزینی برای نشان‌دادن عملکرد نکاشت و کپه‌کاری است، که در آن I_{qf}، شاخص کیفیت تغذیه بر حسب درصد می‌باشد.

$$I_{qf} = ۱۰۰ - (I_{miss} + I_{mult}) \qquad (۵)$$

طبق تعریف استاندارد ISO بذرهای کاشته‌شدهٔ نرمال، بذرهایی هستند که در دامنه نیم تا ۱/۵ برابر فاصلهٔ تئوری کاشته شده‌اند (Kachman & Smith, 1995; Kocher *et al.*, 1998). فاصلهٔ تئوری زمانی حاصل می‌شود که شاخص‌های کپه‌کاری و نکاشت و ضریب تغییرات، صفر باشند.



شکل ۳- فلوچارت مربوط به استخراج فاصله‌های زمانی برای هر برخورد

www.SID.ir

Archive of SID

آزمون‌های مقدماتی

استفاده از میکروفون خازنی، صفحه برخورد و سامانهٔ صوتی رایانه برای تشخیص بذر، باعث شده است تا متغیرهای سامانهٔ صوتی در این مرحله به گونه‌ای تنظیم شوند که سامانهٔ صوتی با بالاترین دقت ممکن قادر به انجام کار باشد. در این پژوهش از بذر پوشش‌دار گوجه‌فرنگی رقم sun f1 6108 برای تعیین توانایی سامانهٔ صوتی برای برآورد شاخص‌های دقیق‌کاری استفاده شد. آزمایش‌های مقدماتی نشان داد که سرعت برخورد بذرها، بر سیگنال صوتی و مؤلفه‌های آن تأثیرگذار است و بنابراین، بر دقت و کارایی سامانهٔ صوتی در شناسایی بذرهای آسیب‌دیده اثرگذار خواهد بود. با در نظر گرفتن این مسئله، سکوی تغذیه باید با سرعت ثابتی بذرها را بر روی صفحه برخورد می‌ریخت. سرعت تسمه نقاله ۰/۵ متر بر ثانیه تنظیم شد که این سرعت همان سرعت پیشروی شبیه‌سازی شده دقیق‌کار در آزمایشگاه بود. با توجه به اینکه سامانه بر اساس آستانه صوتی تنظیمی راه‌اندازی می‌شد، ابتدا سامانهٔ صوتی بدون اصابت بذر به صفحه برخورد در محیط آزمایشگاه با آستانه‌های صوتی متفاوت مورد آزمایش قرار گرفت که بر اساس آن کمترین آستانه صوتی که سامانه با وجود آن با صدای محیط راه‌اندازی نمی‌شد، شناسایی گردید. آستانه صوتی ۰/۴ ولت برای داده‌برداری صوتی از برخورد بذرها انتخاب شد. با توجه به اینکه سیگنال صوتی برخورد هر بذر با عبور از آستانه صوتی تعریف‌شده به‌عنوان یک رویداد وارد الگوریتم برآورد شاخص‌های عملکردی دقیق‌کارها می‌شد و همچنین با توجه تمهیدات در نظر گرفته‌شده، عملاً نویز محیط بر عملکرد سامانه اثری نداشت.

ارزیابی سامانهٔ صوتی

در این مرحله توانایی سامانهٔ صوتی ابداعی در برآورد فواصل بین بذرها و شاخص‌های عملکردی دقیق‌کارها مورد آزمون قرار گرفت. با در نظر گرفتن فواصل تنظیمی دقیق‌کاری ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۸، ۳۲، ۳۶ و ۴۰ سانتی‌متری (S در معادله (۴))، بذرهای گوجه‌فرنگی پوشش‌دار به‌صورت دستی در فاصله‌های ۳ تا ۸۱ سانتی‌متری در مسیری که روی تسمه تعبیه شده بود، قرار داده شدند تا محدودهٔ داده‌برداری بیشتری را در برگیرند. این فاصله‌گذاری (۳ تا ۸۱ سانتی‌متری) شاخص‌های دقیق‌کاری از پیش تعیین‌شده‌ای را برای هر کدام از الگوهای فاصله‌ای تنظیمی فراهم می‌کرد (به طور مثال برای اینکه در فاصله‌ای تنظیمی ۱۰ سانتی‌متری کپه‌کاری و نکاشت داشته باشیم، باید در بازه کمتر از ۵ سانتی‌متر و بالاتر از ۱۵ سانتی‌متر در روی سکوی تغذیه فاصله‌گذاری بذور انجام می‌گرفت). در این قسمت، فقط ۳/۵ متر ابتدای تسمه برای قراردادن بذرها استفاده شد که به این ترتیب سامانه تا رسیدن بذرها به انتهای تسمه فرصت کافی برای رسیدن به حالت پایا را داشت. شکل ۱، طرح‌واره‌ای از نحوهٔ جای‌گذاری بذرها روی سکوی تغذیه را نشان می‌دهد. سرعت حرکت تسمه که معادل سرعت شبیه‌سازی‌شده حرکت دقیق‌کار در مزرعه بود، به وسیلهٔ مبدلی که روی سکوی برش نصب‌شده بود، به اندازه ۰/۵ متر بر ثانیه (۱/۸ km/hr) تنظیم شد. هنگامی که تسمه شروع به حرکت می‌کرد، بذرها به‌ترتیب به صفحه برخورد اصابت کرده و هر بذر با یک برخورد از صفحه فولادی دور می‌شد. صدای مربوط به هر بذر با تمهیداتی که قبلاً شرح داده شده، دریافت و فاصله هر بذر با بذر قبلی با توجه به سرعت پیشروی شبیه‌سازی‌شده به‌صورت آنلاین محاسبه شد. آزمایش‌ها برای هر الگوی فاصله‌ای بذرهای گوجه فرنگی پوشش‌دار در سه تکرار انجام گردید. در هر تکرار، شاخص‌های عملکردی موزع بر مبنای فاصلهٔ تئوری تعیین‌شده در هر الگو، با استفاده از معادلات (۲)، (۳)، (۴) و (۵) مطابق با استاندارد ISO به‌دست آمدند.

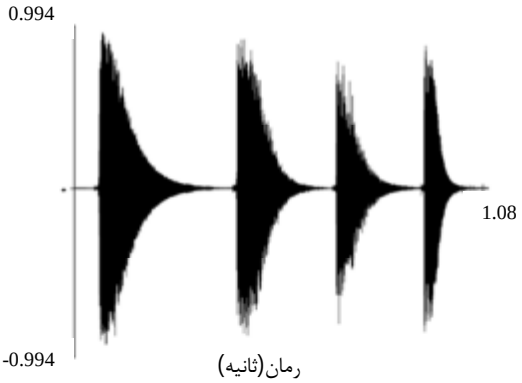
نتایج و بحث

از معادله (۵) می‌توان دریافت که شاخص کیفیت تغذیه هم‌زمان می‌تواند شاخص‌های کپه‌کاری و نکاشت را نمایندگی کند. بنابراین، برای بررسی توانایی سامانه پیشنهادی در برآورد شاخص‌های دقیق‌کاری از پیش تعیین‌شده در سکوی تغذیه، از بین چهار شاخص دقیق‌کاری معرفی شده، دو شاخص کیفیت تغذیه و دقت در فواصل (ضریب تغییرات) مورد استفاده قرار گرفت؛ به این صورت که برای کل داده‌های به‌دست آمده توسط سامانهٔ صوتی در یک تکرار این دو شاخص مورد محاسبه قرار گرفت. شکل ۴، شامل نمودار سیگنال برخورد متوالی چند بذر در حوزه زمان است که نسبت سیگنال به نویز را نشان می‌دهد. در شکل‌های ۵ و ۶، میانگین شاخص‌های به‌دست آمده در سه تکرار هر الگوی فاصله‌ای (همان‌گونه

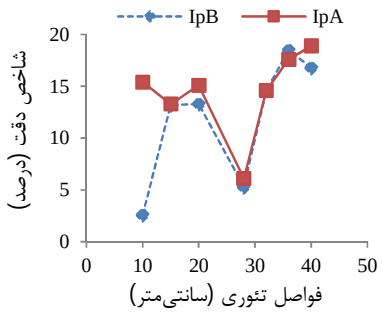
www.SID.ir

Archive of SID

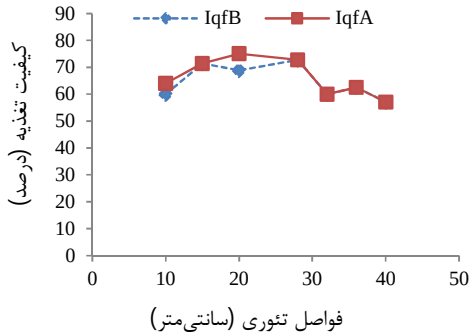
که نشان داده شد) با شاخص‌های از پیش تعیین‌شده در روی سکوی تغذیه مقایسه شدند. شکل ۵، نمودار خط ممتد میانگین شاخص دقت به‌دست آمده توسط سامانهٔ صوتی (IpA) و نمودار خط‌چین شاخص دقت به‌کارگرفته‌شده در سکوی تغذیه (IpB) را نشان می‌دهد. همچنین، شکل ۶، نمودار خط ممتد میانگین شاخص کیفیت تغذیه به‌دست آمده توسط سامانهٔ صوتی (IqfA) و نمودار خط‌چین شاخص دقت به‌کار گرفته‌شده در سکوی تغذیه (IqfB) را نشان می‌دهد. نمودارهای به‌دست آمده در این شکل‌ها، نشانگر رابطه‌ای نسبتاً قوی بین شاخص‌های به‌دست آمده از سامانهٔ صوتی و شاخص‌های از پیش تعیین‌شده در سکوی تغذیه هستند. شکل ۵، اختلافی بین دو نمودار مربوط به سامانهٔ صوتی و سکوی تغذیه در ابتدای بین دو نمودار در فاصله تئوری ۱۰ سانتی‌متر را نشان می‌دهد. دلیل این اختلاف به این صورت تشخیص داده شد که سامانه دقت پایین‌تری در برآورد فاصله بین بذرها در الگوهای فاصله‌ای کوچک‌تر از خود نشان می‌دهد.



شکل ۴- نمودار سیگنال برخورد متوالی چند بذر در حوزه زمان



شکل ۵- نمودارهای میانگین دقت به‌دست آمده از سامانهٔ صوتی (IpA) و سکوی تغذیه (IpB)



شکل ۶- نمودارهای میانگین کیفیت تغذیه به‌دست آمده از سامانهٔ صوتی (IqfA) و سکوی تغذیه (IqfB)

در این پژوهش متغیر مستقل، شامل فاصله‌گذاری روی تسمه سکوی تغذیه و متغیر وابسته، شامل فواصل برآوردشده توسط سامانهٔ صوتی پیشنهادی بود. برای برآورد توانایی سامانه پیشنهادی در تخمین الگوهای فاصله‌ای مختلف اعمالی ضریب تبیین بین الگوهای فاصله‌ای اعمالی و فاصله‌های تخمین زده شده توسط سامانهٔ صوتی مورد محاسبه قرار گرفت. به عبارت دیگر، دقت سامانه در پیش‌بینی فاصله‌های روی تسمه با استفاده از ضریب تبیین مورد سنجش قرار گرفت. جدول ۱، نتایج مربوط به تجزیه رگرسیون و ضریب تبیین حاصل از الگوهای فاصله‌ای ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۸، ۳۲، ۳۶ و ۴۰ سانتی‌متری بین داده‌های فاصله‌ای برآورد شده توسط سامانهٔ صوتی و داده‌های فاصله‌ای اعمال شده توسط سکوی تغذیه را نشان می‌دهد که در آن b، عرض از مبدأ معادله‌های رگرسیون؛ b_1، شیب خط معادله رگرسیون؛ و R^2، ضریب تبیین می‌باشد. با بررسی جدول ۱ مشخص می‌شود که با افزایش فاصله‌های از پیش تعیین‌شده در روی سکوی تغذیه رابطه آن با داده‌های به‌دست آمده از سامانهٔ صوتی قوی‌تر خواهد شد. بنابراین، افزایش در فاصلهٔ تئوری عملکرد سامانه را به طور نسبی افزایش می‌داد. برای مشاهده بهتر این روند، تغییرات ضریب تبیین در مقابل فاصله‌های تئوری از پیش تعیین‌شده در سکوی تغذیه در نمودار شکل ۷ نشان داده شده است.

برای ارزیابی کلی سامانه، رابطهٔ مجموع داده‌های به‌دست آمده از سامانهٔ صوتی با الگوهای فاصله‌ای مختلف با استفاده از تجزیه رگرسیون خطی و ضریب همبستگی مورد بررسی قرار گرفت که نتایج آن در نمودار شکل ۸ نشان داده شده است. تعداد مشاهدات در این حالت به

www.SID.ir

Archive of SID

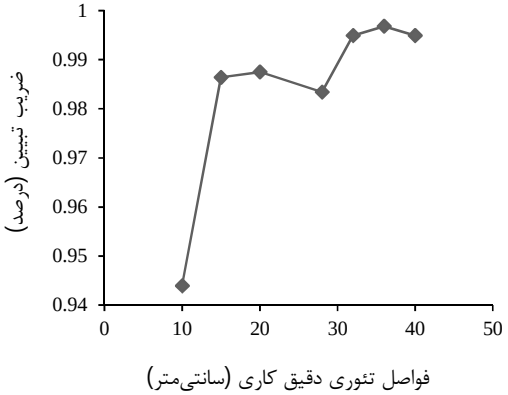
حدود ۳۰۰ عدد می‌رسید که بررسی دقیق‌تر و کلی‌تر سامانهٔ صوتی را امکان‌پذیر می‌کرد. معادله تجزیه رگرسیون مربوط به مجموع داده‌های به‌دست آمده از سامانهٔ صوتی و الگوهای فاصله‌ای مختلف به‌صورت معادله (۶) به‌دست آمد:

$$y=/۹۷۸x-۰/۳۸۴ \quad (۶)$$

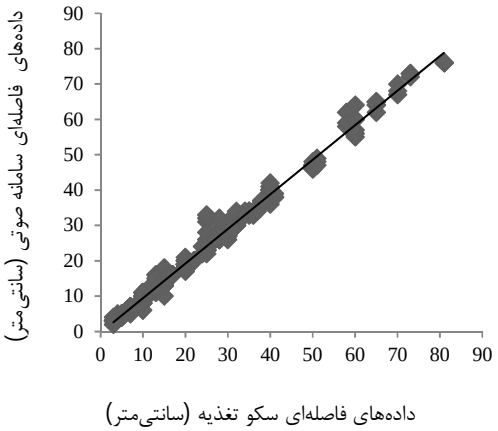
همچنین، ضریب تبیین بین مجموع داده‌های به‌دست آمده از سامانهٔ صوتی در حدود ۰/۹۹ درصد محاسبه شد، که نشانگر قدرت بالای سامانه در تشخیص فاصلهٔ بین بذرها می‌باشد. بنابراین، با توجه به نتایج سامانهٔ صوتی پیشنهادی اهداف موردنظر در این طرح را به طور قابل قبولی تأمین می‌کند.

جدول ۱- نتایج مربوط به تجزیه رگرسیون و ضریب همبستگی حاصل از الگوهای فاصله‌ای مختلف اعمالی

فاصله تئوری	R^2	b_0	b_1
۱۰cm	۰/۹۴۴	-۰/۴۶۷	۰/۹۹۳
۱۵cm	۰/۹۸۶	-۰/۲۴۹	۰/۹۶۹
۲۰cm	۰/۹۸۷	+۰/۴۵۵	۰/۹۱۴
۲۸cm	۰/۹۸۳	-۱/۳۲۳	۱/۰۲۱
۳۲cm	۰/۹۹۴	-۰/۹۲۵	۱/۰۲۰
۳۶cm	۰/۹۹۶	-۲/۲۳۲	۱/۰۱۰
۴۰cm	۰/۹۹۱	+۰/۵۶۸	۰/۹۴۵



شکل ۷- روند تغییرات ضریب تبیین در مقابل الگوهای فاصله‌ای تئوری شبیه‌سازی شده برای دقیق‌کاری



شکل ۸- نمودار تجزیه رگرسیون مجموع داده‌های به‌دست آمده از سامانهٔ صوتی با الگوهای فاصله‌ای مختلف

نتیجه‌گیری

در نهایت، این پژوهش مزایای سامانهٔ پیشنهادی را در مقایسه با روش‌هایی که تاکنون گزارش آن دریافت شده است، به این صورت ارزیابی می‌کند: ۱) با توجه به رابطهٔ قوی بین فاصله‌های واقعی و فاصله‌های برآوردشده توسط سامانهٔ صوتی پیشنهادی، به نظر می‌رسد که این سامانهٔ صوتی در مقایسه با سامانه‌های دیگر کارایی بالاتری را ارائه دهد؛ ۲) بسیاری از روش‌های که تا کنون انجام گرفته‌اند، (آزمون بستر شنی، استفاده از پارافین مذاب، حفاری ردیف کشت، فناوری اشعه ایکس و روش پردازش تصویر) سامانه‌های خودکاری برای ارزیابی آزمایشگاهی دقیق‌کارها نیستند و جمع‌آوری داده و برآورد شاخص‌ها در آن‌ها زمان‌بر و با سختی فراوان همراه است. این در حالی است که سامانهٔ صوتی پیشنهادی، سامانه‌ای است که به‌صورت آنلاین و هم‌زمان قادر به جمع‌آوری داده و برآورد شاخص‌هاست؛ ۳) در برخی از روش‌های قبلی مشکلاتی در واسنجی محیطی وجود دارد. به طور مثال، در روش پردازش تصویر و سامانه دوربین سرعت بالا، نیاز به تابش نور به طور مناسب و یکنواخت در محل اندازه‌گیری می‌باشد. در حالی‌که سامانه پیشنهادی با تمهیداتی که بیان شد به راحتی قابل کار در شرایط گوناگون محیطی است؛ ۴) سادگی، هزینهٔ پایین نصب و راه‌اندازی سامانهٔ صوتی پیشنهادی نسبت به روش‌های دیگر، یکی از مهم‌ترین ویژگی‌های این طرح می‌باشد، به طوری که با کمترین متعلقات (میکروفن، محفظه آکوستیک، صفحه برخورد، رایانه شخصی) کارایی مناسبی را ارائه می‌کند.

www.SID.ir

Archive of SID

منابع

1. Anantachar, M. Kumar, P. G. and Guruswamy, T. 2010. Neural network prediction of performance parameters of an inclined plate seed metering device and its reverse mapping for the determination of optimum design and operational parameters. Computers and Electronics in Agriculture, 72(2): 87-98.
2. Gasso-Tortajada, V. Ward, A. J. Mansur, H., Brøchner, T. Sørensen, C. G. and Green, O. 2010. A novel acoustic sensor approach to classify seeds based on sound absorption spectra. Sensors, 10(11): 10027-10039.
3. Goulden, C. and Mason, W. 1958. An electronic seed counter. Canadian Journal of Plant Science, 38(1): 84-87.
4. Kachman, S. and Smith, J. 1995. Alternative measures of accuracy in plant spacing for planters using single seed metering. Transactions of the ASAE, 38(2): 379-387.
5. Karayel, D. Wiesehoff, M. Özmerzi, A. and Müller, J. 2006. Laboratory measurement of seed drill seed spacing and velocity of fall of seeds using high-speed camera system. Computers and Electronics in Agriculture, 50(2): 89-96.
6. Karimi, H. Navid, H. and Mahmoudi, A. 2012. Detection of damaged seeds in laboratory evaluation of precision planter using impact acoustics and artificial neural networks. Artificial Intelligence Research, 1(2): 67-74.
7. Kocher, M. F. Lan, Y. Chen, C. and Smith, J. A. 1998. Opto-electronic sensor system for rapid evaluation of planter seed spacing uniformity. Transactions of the ASAE, 41(1): 237-245.
8. Lan, Y. Kocher, M. F. and Smith, J. A. 1999. Opto-electronic sensor system for laboratory measurement of planter seed spacing with small seeds. Journal of agricultural engineering research, 72(2): 119-127.
9. Navid, H. Ebrahimian, S. and Gassemzadeh, H. 2011. Laboratory evaluation of seed metering device using image processing method. Australian Journal of Agricultural Engineering, 2(1): 1-4.
10. Panning, J. W. Kocher, M. F. Smith, J. A. and Kachman, S. D. 2000. Laboratory and field testing of seed spacing uniformity for sugarbeet planters. Applied Engineering in Agriculture, 16(1): 7-13.
11. Raheman, H. and Singh, U. 2003. A sensor for flow seed metering mechanisms. IE (I) Journal-AG, 84: 6-8.
12. Singh, R. Singh, G. and Saraswat, D. 2005. Optimisation of design and operational parameters of a pneumatic seed metering device for planting cottonseeds. Biosystems Engineering, 92(4): 429-438.
13. Yasir, S. H. Liao, Q. Yu, J. and He, D. 2012. Design and test of a pneumatic precision metering device for wheat. Agricultural Engineering International: CIGR Journal, 14(1): 16-25.
14. Zhan, Z. Yaoming, L. Jin, C. and Lizhang, X. 2010. Numerical analysis and laboratory testing of seed spacing uniformity performance for vacuum-cylinder precision seeder. Biosystems Engineering, 106(4): 344-351.

www.SID.ir

Archive of SID

www.SID.ir