

طراحی، ساخت و ارزیابی سامانه هشدار دهنده نکاشت قلمه در کارنده نیشکر

فرهاد موسوی صالحی^۱، محمد اسماعیل خراسانی فردوانی^{۲*}، شعبان قوامی جولندان^۳ و حسن مسعودی^۴

چکیده

امروزه با وجود پیشرفت‌های چشمگیر در عرصه فن‌آوری و تولید تجهیزات پیشرفته، متأسفانه در اکثر کشورها تولید محصولات کشاورزی ناکافی بوده و رو به کاهش است و بنابراین استفاده از فن‌آوری‌های نوین در راستای افزایش کیفیت و کمیت تولید محصولات کشاورزی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار بوده و امری اجتناب‌ناپذیر است. به همین منظور در پژوهش حاضر از سامانه مجهز به حسگر فراصوت به عنوان یک هشدار دهنده عمل نکاشت قلمه نیشکر در ماشین کارنده نیشکر استفاده شد. به منظور تعیین بهترین مکان برای نصب حسگر روی سامانه، چهار نقطه با ارتفاع‌های ۲۰، ۴۰، ۶۰ و ۱۰۰ سانتی‌متر از محل سقوط قلمه‌ها در نظر گرفته شد. با عبور قلمه‌های نی از مقابل حسگر در درون سامانه، دقت تشخیص حسگر فراصوت مورد ارزیابی قرار گرفت و بهترین مکان برای نصب حسگر روی سامانه به دست آمد. داده‌برداری به‌صورت آزمایش فاکتوریل بر پایه طرح کاملاً تصادفی بوده و تجزیه و تحلیل داده‌ها و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از نرم‌افزار SPSS ورژن ۱۶ انجام پذیرفت. نتایج نشان داد، که با افزایش فاصله حسگر از محل سقوط، به دلیل افزایش سرعت عبور قلمه‌ها دقت، تشخیص کاهش می‌یابد. در ارزیابی مزرعه‌ای نیز دقت سامانه در تشخیص عبور قلمه‌ها از مقابل حسگر مورد ارزیابی قرار گرفت. مطابق نتایج، رابطه رگرسیون خطی با $R^2 = 0.929$ بین سیگنال اعلامی توسط سامانه و تعداد قلمه‌های ریزشی حقیقی توسط کارنده در شیار کشت به دست آمد که نشان دهنده دقت سامانه در پایش قلمه‌های ریزشی حین کاشت است. همچنین نتایج ارزیابی مزرعه‌ای دقت سامانه نشان داد که سامانه در فواصل نکاشت بیش از ۰/۵ متر با دقت بیش از ۹۵ تا ۹۹/۸٪ نقاط کاشته نشده را به درستی تشخیص می‌دهد.

واژه‌های کلیدی: سامانه هشدار دهنده، نکاشت، کارنده نیشکر، قلمه نیشکر، حسگر فراصوتی.

ارجاع: موسوی صالحی ف.، خراسانی فردوانی م. ا.، قوامی جولندان ش. و مسعودی ح. ۱۴۰۲. طراحی، ساخت و ارزیابی سامانه هشدار دهنده نکاشت قلمه در کارنده نیشکر. نشریه پژوهش‌های مکانیک ماشین‌های کشاورزی. ۲۹: ۴۴-۴۳. <https://dx.doi.org/10.22034/JRMAM.2023.14179.643>

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران.

۲- استادیار گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران.

۳- استادیار گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران.

۴- دانشیار گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران.

* نویسنده مسئول: e.khorasani@scu.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۰/۱۱ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۲/۱۲

مقدمه

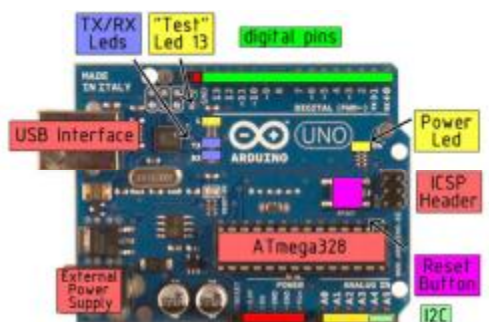
نیشکر به عنوان یک محصول کشاورزی، گیاهی است چند ساله که به منظور تولید شکر، نئوپان، خمیرمایه، الکل، کاغذ و غیره کشت می‌گردد. این گیاه در سطح بیش از ۱۲۰ هزار هکتار از زمین‌های استان خوزستان کشت شده و حدود ده شرکت کشت و صنعت در این زمینه فعالیت دارند. در حال حاضر کشت نیشکر به دو روش دستی و ماشینی انجام می‌گیرد. در روش دستی، قلمه‌ها پس از تهیه و آماده‌سازی، در داخل شیارهایی به فاصله ۱۸۰ سانتی‌متر به نحوی به صورت طولی در شیارها قرار می‌گیرند که بخشی از آنها بر روی یکدیگر همپوشانی داشته باشند (شکل ۱). سپس به وسیله یک پوشاننده ماشینی، قلمه‌ها با خاک پوشانده می‌شوند. با توجه به شرایط آب و هوای گرم و مرطوب مناطق کشت نیشکر، عملیات کشت دستی، کاری پرزحمت و طاقت‌فرسا بوده و بازدهی کار بسیار پایین و هزینه کشت زیاد است (Mansouri et al., 2019). نتایج تحقیق نشان داد که کشت نیمه ماشینی با کمترین هزینه و بیشترین کیفیت قلمه‌گذاری، روش بهینه‌ای است.



شکل ۱- کشت دستی نیشکر

از طرف دیگر کشت دستی به دلیل هزینه بالا با وجود اینکه در شاخص کیفیت کشت، بهتر از کشت ماشینی عمل کرده است ولی رتبه پایین‌تری را از آن خود کرده است (Mansouri et al., 2019). کاشت دستی قلمه و یا تمام ساقه بسیار هزینه‌بر است و پیدا کردن نیروی کار لازم برای این عمل هر روز دشوارتر می‌شود. نیاز به سامانه کاشت تمام ماشینی به خوبی احساس می‌شود. کشت نیشکر نیازمند نیروی کارگری زیاد، در حدود ۳۳۰۰ نفر ساعت کار برای هر هکتار نیشکر در سال زراعی است

(Murali & Balakrishnan 2012). تحقیقاتی در جهت طراحی و ساخت کارنده‌های قلمه کار نیشکر انجام شده است و برای بهینه‌سازی ریزش قلمه عوامل مرتبط بهینه شده‌اند (Namjoo & Razavi, 2013). یکنواختی کاشت، یک شاخص ارزیابی کلیدی برای دستگاه‌های قلمه‌کار است. اخیراً پژوهشی جهت ارزیابی تأثیر سرعت چرخشی زاویه زنجیر موزع چنگکی و تعداد قلمه‌ها بر یکنواختی کاشت یک دستگاه موزع قلمه و در جهت افزایش یکنواختی کاشت با دستگاه‌های قلمه کار نیشکر به صورت آزمایشگاهی انجام شده است و عوامل بهینه استخراج شده است (Wang et al., 2022). ریزش قلمه توسط دستگاه کارنده نیشکر از اهمیت زیادی برخوردار است. به دلیل اینکه ریزش زیاد قلمه هزینه‌ها را زیاد و کاهش ریزش، تولید را کم می‌کند، بنابراین یکی از روش‌ها در جهت دستیابی به ریزش مناسب استفاده از حسگرها هستند که به وسیله آنها عوامل مختلف محیطی و محصول، اندازه گرفته می‌شوند. لذا باید به دنبال روشی غیرمخرب، ارزان و ساده برای تشخیص قلمه نی حین ریزش بود. وجود سامانه الکترونیکی پایش نرخ قلمه‌ها باعث افزایش تسلط راننده به فرآیند کاشت می‌شود، به طوری که هر گونه قطعی در جریان ریزش قلمه‌ها به سمت زمین باعث روشن شدن هشدار مربوطه می‌شود. در واقع هدف، پایش نرخ عبور قلمه‌های نیشکر در دستگاه کارنده نیست، بلکه هدف تشخیص عبور یا عدم عبور قلمه‌ها است. Meamar et al. (2014) با عبور امواج فراصوت از بافت چند نوع میوه، میزان تضعیف و سرعت عبوری امواج را برای تشخیص میزان سفتی، رسیدگی و لهیدگی بافت محصول سنجیدند. نتایج نشان داد که این سامانه برای سنجش بافت میوه کارایی دارد، ولی تاکنون نمونه تجاری آن به ثبت نرسیده است و بنابراین لزوم تحقیقات بیشتر را نمایان می‌سازد. (Fricke et al., 2011) برای تشخیص ارتفاع توده علوفه، از حسگر فراصوت استفاده کردند؛ به طوری که در تشخیص ارتفاع توده علوفه به نتایج قابل قبولی رسیدند. (2012 Alighale et al.,) تشخیص ارتفاع ذرت را بررسی کردند که نتایج داده‌های اندازه‌گیری توسط سامانه فراصوت به نتایج داده‌های اندازه‌گیری شده دستی بسیار نزدیک گزارش شد. با این حال برای تکمیل این روش انجام تحقیقات و اعمال تغییرات بیشتر در طراحی سامانه‌ها پیشنهاد شد. (Shadkam et al., 2011) با استفاده از



شکل ۳- ماژول آردوینو uno استفاده شده در پژوهش

برای ثبت داده‌های موقعیت مکانی و کاشت یا نکاشت از یک ماژول کارت حافظه SD - Micro SD/TF ساخت کشور چین استفاده شد (شکل ۴).



شکل ۴- ماژول کارت حافظه (SD - Micro SD/TF)

منبع انرژی سامانه، برق باتری و دینام دستگاه کارنده بود که ولتاژ آن بین ۱۲ تا ۱۴ ولت متغیر است. برای کاهش و ثابت نگه داشتن ولتاژ روی مقدار ثابت که ۵ ولت در نظر گرفته شد از یک ماژول کاهنده ولتاژ DC-DC LM2596 (شکل ۵) استفاده شد. این ماژول کارکرد ساده‌ای داشته و می‌توان ولتاژ آن را توسط یک پتانسیومتر تنظیم نمود.



شکل ۵- ماژول مبدل و کاهنده ولتاژ DC-DC LM2596

حسگرهای فراصوت اقدام به سنجش تراکم محصول برای تخمین سرعت پیشروی ماشین‌های برداشت کردند. آنها اعلام کردند که به طور کلی، می‌توان از امواج فراصوت برای تعیین تراکم محصول و بر اساس آن، تخمین سرعت پیشروی مناسب ماشین برداشت استفاده کرد. در سال ۲۰۱۱ طی تحقیقی از حسگرهای فراصوت در سامانه رقومی اندازه‌گیر ساختار درختان باغی استفاده شد و نتایج آزمایش‌ها نشان داد که سامانه مذکور حجم تاج پوشش درخت را بیشتر از حجم واقعی آن برآورد می‌کند، اما دقت آن کمتر از ۸۷٪ نیست (Zhai et al., 2011).

مواد و روش‌ها

در این تحقیق از کارنده نیشکر BP-4000 ساخت شرکت پویا سازان صنعت سبزآوران، ایران استفاده شد (شکل ۲) و سامانه پایش الکترونیکی مورد نظر پس از طراحی و ساخت بر روی کارنده مذکور نصب شد. انتخاب بهترین محل نصب حسگر، طراحی ابعاد، نوع حسگر، مدارهای پردازش سیگنال و برنامه‌نویسی از جمله مراحل کار طراحی سامانه بود.



شکل ۲- کارنده نیشکر مدل BP-4000

برای واحد پایش از یک مدار آردوینو uno استفاده شد که ریزپایشگری بر پایه ATmega328 است. این مدار دارای ۱۴ ورودی و خروجی رقومی است که ۶ عدد آن می‌تواند به عنوان خروجی PWM استفاده گردد. ۶ ورودی آنالوگ و یک اتصال USB است (شکل ۳). از دلایل انتخاب این مدار این است که کار با آن آسان بوده و تنها با یک ارتباط USB به سادگی به رایانه متصل می‌شود. از مزایای دیگر آن اتصال آسان آن به مدار اصلی، قیمت مناسب و فراوانی کتابخانه‌های کدنویسی موجود آن است.

دریافت کرده و به همراه داده‌های جغرافیایی در کارت حافظه ذخیره می‌کند. شکل ۸ محل نصب حسگرهای فراصوت در مسیر ریزش قلمه‌ها را نشان می‌دهد. محل نصب طوری است که مجراهای ریزش حداقل ۸۰ سانتی‌متر با نوک حسگر فاصله داشته باشد تا باعث اختلال در عملکرد حسگر نشود.



شکل ۸ - موقعیت نصب سامانه ساخته شده بر روی کارنده

نحوه ارزیابی سامانه

ارزیابی سامانه پایش ریزش قلمه‌ها ابتدا در آزمایشگاه و سپس بر روی ماشین کارنده نیشکر BP-4000 انجام شد. به منظور ارزیابی آزمایشگاهی، قلمه‌ها از جلو حسگر به صورت سقوط آزاد عبور داده شد. فاصله نصب حسگر از محل سقوط و عملکرد درست سامانه در شناسایی قلمه‌های در حال سقوط مورد بررسی قرار گرفت. محل قرارگیری حسگر از نقطه شروع سقوط آزاد قلمه‌ها به عنوان تیمار در چهار ارتفاع ۲۰، ۴۰، ۶۰ و ۱۰۰ سانتی‌متری پایین‌تر از محل سقوط در نظر گرفته شد. مشخص شد که هر چه ارتفاع سقوط بیشتر شود به دلیل افزایش سرعت قلمه، مقدار صحت تشخیص سامانه کمتر می‌شود. این نتیجه به تعیین محل بهینه نصب حسگرها روی کارنده کمک نمود. به منظور ارزیابی مزرعه‌ای، سامانه با اعمال تغییراتی روی ماشین کارنده، نصب شد. مکانیزم پوشاننده دستگاه غیرفعال گردید تا با توجه به باز بودن روی قلمه‌ها، داده برداری انجام شود. پس از کاشت مزرعه نمونه، با شمارش قلمه‌ها در بستر کشت و اندازه‌گیری فاصله‌های نکاشت روی هر ردیف، آمار کاشت و نکاشت مزرعه، دقت شمارش قلمه‌ها و دقت مکانی ریزش داده‌برداری شد. در نهایت خطای سامانه گزارش گردید. برای انجام آزمون‌های عملکرد سامانه، ۲۰ قطعه زمین چهار متری، در ۵۰۰ متر از مسیر کاشت، به صورت تصادفی انتخاب و همزمان با کاشت، تعداد پالس‌های چراغ هشدار و تعداد قلمه‌های ریخته شده در هر قطعه شمارش

برای پایش ریزش قلمه‌ها از دو حسگر فراصوت JSN-SR04T ساخت کشور چین استفاده شد (شکل ۶). جهت تعیین مسافت با امواج فراصوت، ابتدا یک سری از پالس‌های صوتی در محدوده فراصوت توسط فرستنده تولید و به سمت هدف ارسال می‌شود، سپس موج بازتاب شده دریافت و تحلیل می‌گردد. برای ارسال امواج بایستی پایانه تحریک (Trigger) با ریزپاشگر تحریک شود و با محاسبه زمان بین فرستادن سیگنال و گرفتن بازتاب، فاصله جسم محاسبه شود.



شکل ۶ - ماژول حسگر فراصوت تعیین مسافت ضد آب (JSN-SR04T)

برای نگهداشتن دو عدد حسگر فراصوت در فاصله مناسب از کانال ریزش قلمه، از یک پایه با قابلیت تنظیم طولی و دورانی استفاده شد. در شکل ۷ اجزای کامل سامانه فراصوت که جهت نصب روی کارنده ساخته شد، مشاهده می‌شود.



شکل ۷ - سامانه پایش فراصوت و اجزای تشکیل دهنده آن

برای تغذیه از یک باتری ۱۲ ولت ۵ آمپر ساعت استفاده شد. چراغ هشدار دهنده عبور قلمه به کمک یک رله و ترانزیستور و با فرمان کنترلر روشن می‌شود. واحد GPS شامل یک میکروکنترلر، کارت حافظه و یک ماژول GPS است. این واحد سیگنال عبور قلمه را از واحد پایش

شد (شکل ۹). طول قلمه‌ها به طور متوسط ۱۵ سانتی‌متر و از واریته cp57 بودند.



شکل ۹- ارزیابی مزرعه‌ای عملکرد سامانه

تصویر ماهواره‌ای مسیر حرکت کارنده در منطقه کشت و صنعت هفت تپه خوزستان مطابق شکل ۱۰ به دست آمد.



شکل ۱۰- نقشه مسیر حرکت کارنده هنگام آزمایش سامانه در مزرعه

داده‌برداری به صورت آزمایش فاکتوریل بر پایه طرح کاملاً تصادفی بوده و تجزیه و تحلیل داده‌ها و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از نرم‌افزار SPSS نسخه ۱۶ انجام پذیرفت. پس از به دست آمدن مکان مناسب نصب حسگر و دقت حسگر در سنجش عبور قلمه‌ها، آزمون مزرعه‌ای دیگری جهت ارزیابی دقت تشخیص نکاشت سامانه در یک مزرعه نمونه و طی کاشت ۲۰ ردیف ۲۵۰ متری انجام شد. طی این آزمون مجدداً مکانیزم پوشاننده غیرفعال گردید تا با مراجعه بعدی بتوان درستی اعلان سامانه مبنی بر نکاشت را ارزیابی نمود. طی آزمایش‌های میدانی اولیه مشخص شد که احتمال وقفه در سامانه تغذیه دستگاه و نکاشت در طی مسافت‌های آزمایشی کوتاه بسیار کم است. با توجه به محدودیت زمانی انجام آزمایش، به منظور برداشت داده‌های کافی جهت ارزیابی با ایجاد مزاحمت در کار موزع کارنده به صورت دستی تیمار نکاشت با طول زمان صفر، ۱، ۲ و ۳ ثانیه ایجاد شد. همچنین طی آزمون‌های میدانی اولیه مشخص شد که هرچه زمان توقف ریزش بیشتر

باشد، سامانه موقعیت نکاشت را با دقت بالاتری تشخیص می‌دهد. با توجه به سرعت متوسط ۵ کیلومتر بر ساعت کارنده در حین کاشت، وقفه‌های معادل به ترتیب عبارتند از: کمتر از ۰/۵ متر (بدون ایجاد توقف دستی ریزش)، بین ۰/۵ تا ۱/۵ متر، ۱/۵ تا ۲/۵ متر و بیش از ۲/۵ متر. لازم به ذکر است که در تیمار اول که هیچ دخالتی در ریزش کارنده انجام نشد، به دلیل برخورد قلمه‌ها به دیواره کانال سقوط و طول مسیر ریزش تا خاک، عدم یکنواختی کمی در ریزش نهایی ایجاد شد که در مواردی باعث ایجاد وقفه-های ریزش تا حداکثر ۰/۵ متر می‌شد. البته در مواردی همین عدم یکنواختی ریزش باعث پر شدن نقاط نکاشت و ایجاد همپوشانی مطلوب‌تر هم می‌گردید. جهت ارزیابی دقت سامانه هشدار دهنده نکاشت آزمایشی در پنج تکرار به صورت طرح کاملاً تصادفی انجام شد. این آزمایش‌ها با یک تأخیر یک ساله نسبت به آزمایش‌های مزرعه‌ای اولیه و طی یک طرح تحقیقاتی مجزا امکان‌پذیر شد. طی این آزمایش‌ها، داده‌های حسگر و هشدارهای ثبت شده مرتبط با نکاشت به همراه داده‌های موقعیت مکانی GPS در کارت حافظه سامانه ذخیره و سپس با مقایسه هشدارهای صادر شده با بازبینی شیارهای کشت روباز، طول بازه‌های نکاشت بر حسب متر اندازه‌گیری شد. در هر تکرار و طی کاشت یک ردیف با طول تقریبی ۲۵۰ متر برای هر یک از تیمارها با ایجاد ۴۰ وقفه مصنوعی حین کار دستگاه (با حذف قلمه‌های در حال بالا رفتن از زنجیر موزع دستگاه)، نقاط نکاشت ایجاد و داده‌های سامانه ذخیره گردید. در نهایت برای هر آزمایش درصد تشخیص درست نکاشت توسط سامانه محاسبه گردید. در این تحلیل هم تجزیه و تحلیل داده‌ها و مقایسه میانگین‌ها با روش دانکن با استفاده از نرم‌افزار SPSS نسخه ۱۶ انجام پذیرفت.

نتایج و بحث

در جدول ۱ نتایج تجزیه واریانس داده‌ها ارائه شده است. در این قسمت واریانس بین گروه‌ها نسبت به واریانس درون گروه‌ها سنجیده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود sig. در قسمت بین گروه‌ها صفر بوده و از عدد ۰/۰۵ کوچک‌تر است. پس می‌توان نتیجه گرفت که دلیل کافی برای رد فرض صفر در این پژوهش وجود دارد. به عبارت دیگر درصد تشخیص سامانه در چهار گروه تیماری (ارتفاع سقوط) متفاوت است. به دلیل اینکه اختلاف

معنی‌دار بین چهار گروه تیماری وجود دارد، نتیجه گرفته می‌شود که حداقل بین دو گروه اختلاف معنی‌دار وجود دارد و به نتایج مقایسه میانگین‌ها و کشف اختلاف بین گروه‌ها نیاز است.

جدول ۱- تجزیه واریانس داده‌های ارزیابی آزمایشگاهی

منبع تغییرات	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	مقدار F	سطح معنی‌داری
مقایسه بین گروهی	۱۴۷۵/۰۰۰	۳	۴۹۱/۶۶۷	۱۹/۶۶۷	۰/۰۰۰
مقایسه درون گروهی	۳۰۰/۰۰۰	۱۲	۲۵/۰۰۰		
مجموع	۱۷۷۵/۰۰۰	۱۵			

جدول ۲ تحلیل نوع Toki را نشان می‌دهد که میانگین‌ها دو به دو با هم مقایسه شده و در انتهای هر ردیف سطح معنی‌داری برای هر کدام آمده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود نتایج مقایسه بین تیمار ۴ با ۱ و ۲ معنی‌دار است. همچنین اختلاف بین تیمار ۳ و ۴ هم معنی‌دار نشده است. نتایج مقایسه میانگین درصد تشخیص درست پایش عبور قلمه از جلوی حسگر طبق شکل ۱۱ نشان می‌دهد که با افزایش ارتفاع سقوط قلمه‌ها و در نتیجه افزایش سرعت عبور قلمه‌ها از جلوی حسگر، درصد تشخیص درست سامانه پایشی کاهش می‌یابد.

جدول ۲- مقایسه میانگین‌های دو به دو بین گروهی به روش Toki در ارزیابی آزمایشگاهی

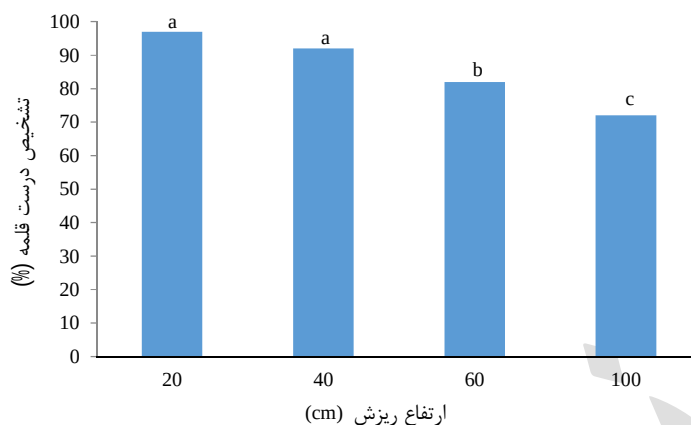
مقایسه گروه		میانگین اختلافات	خطای استاندارد	سطح معنی‌داری	۹۵٪ فاصله اطمینان	
					حد بالا	حد پایین
۲		۵/۰۰۰۰۰	۳/۵۳۵۵۳	۰/۵۱۵	۱۵/۴۹۶۷	-۵/۴۹۶۷
۳	۱	۱۵/۰۰۰۰۰*	۳/۵۳۵۵۳	۰/۰۰۵	۲۵/۴۹۶۷	۴/۵۰۳۳
۴		۲۵/۰۰۰۰۰*	۳/۵۳۵۵۳	۰/۰۰۰	۳۵/۴۹۶۷	۱۴/۵۰۳۳
۱		-۵/۰۰۰۰۰	۳/۵۳۵۵۳	۰/۵۱۵	۵/۴۹۶۷	-۱۵/۴۹۶۷
۳	۲	۱۰/۰۰۰۰۰	۳/۵۳۵۵۳	۰/۰۶۴	۲۰/۴۹۶۷	-۰/۴۹۶۷
۴		۲۰/۰۰۰۰۰*	۳/۵۳۵۵۳	۰/۰۰۱	۳۰/۴۹۶۷	۹/۵۰۳۳
۱		-۱۵/۰۰۰۰۰*	۳/۵۳۵۵۳	۰/۰۰۵	-۴/۵۰۳۳	-۲۵/۴۹۶۷
۲	۳	-۱۰/۰۰۰۰۰	۳/۵۳۵۵۳	۰/۰۶۴	۰/۴۹۶۷	-۲۰/۴۹۶۷
۴		۱۰/۰۰۰۰۰	۳/۵۳۵۵۳	۰/۰۶۴	۲۰/۴۹۶۷	-۰/۴۹۶۷
۱		-۲۵/۰۰۰۰۰*	۳/۵۳۵۵۳	۰/۰۰۰	-۱۴/۵۰۳۳	-۳۵/۴۹۶۷
۲	۴	-۲۰/۰۰۰۰۰*	۳/۵۳۵۵۳	۰/۰۰۱	-۹/۵۰۳۳	-۳۰/۴۹۶۷
۳		-۱۰/۰۰۰۰۰	۳/۵۳۵۵۳	۰/۰۶۴	۰/۴۹۶۷	-۲۰/۴۹۶۷

* معنی‌دار در سطح ۵ درصد

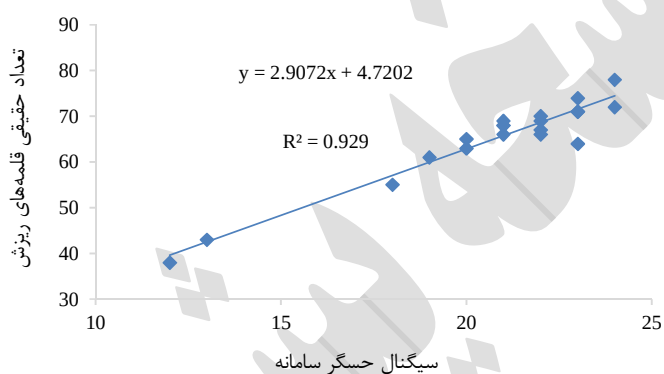
نتایج ارزیابی مزرعه‌ای سامانه

تشخیص قلمه‌های عبوری کمتر از مقدار واقعی تشخیص داده شده است (حدود ۰/۳) ولی به دلیل خطی بودن رابطه و ضریب تبیین بالای رگرسیونی (حدود ۰/۹۳) با دقت بالایی می‌توان بعد از تنظیم از داده‌های خروجی سامانه پایش جهت تشخیص عبور قلمه‌ها استفاده نمود.

مطابق شکل ۱۲ بین داده‌های حسگر سامانه توسعه یافته با تعداد قلمه ریخته شده توسط کارنده رابطه خطی برقرار است. با وجود اینکه به دلیل همپوشانی قلمه‌های ریزشی و سرعت بالای کاشت توسط دستگاه کارنده، همواره سیگنال



شکل ۱۱- درصد تشخیص درست سامانه نسبت به ارتفاع سقوط قلمه



شکل ۱۲- نمودار رگرسیون خطی بین تعداد قلمه‌های ریزش شده و سیگنال ثبت شده توسط سامانه

در جدول ۳ نتایج تحلیل واریانس رگرسیون مدل برازش ۰/۰۵ حاصل شده، می‌توان نتیجه گرفت که مدل خطی شده آورده شده است. به دلیل اینکه مقدار sig کمتر از برازش شده معتبر است.

جدول ۳- تحلیل واریانس رگرسیون مدل برازش شده (ANOVA)

مدل	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربع	مقدار F	سطح معنی‌داری
رگرسیون	۱۶۵۸/۲۸۸	۱	۱۶۵۸/۲۸۸	۲۳۴/۰۹۰	۰/۰۰۰۱
باقیمانده	۱۲۷/۵۱۲	۱۸	۷/۰۸۴		
مجموع	۱۷۸۵/۸۰۰	۱۹			

۱. سیگنال ثبت شده

۲. متغیر وابسته: تعداد قلمه‌ها

است. با توجه به نتایج، حداقل بین دو گروه از تیمارها اختلاف معنی‌دار وجود دارد. در شکل ۱۳ نمودار مقایسه میانگین سطوح تیماری با روش دانکن در سطح احتمال ۰/۰۵ نشان داده شده است. همان‌طور که از نمودار شکل ۱۳ مشخص است با افزایش بازه نکاشت، دقت تشخیص درست سامانه افزایش می‌یابد و برای فاصله‌های نکاشت بیشتر از ۰/۵ متر به بیش از

در جدول ۴ ضرایب رگرسیون خطی به صورت معمول و استاندارد شده مشاهده می‌شود که در آن سطح معنی‌داری برای مقدار ثابت رابطه رگرسیون (۴/۷۲) از ۰/۰۵ بیشتر است که نشانه معنی‌دار نبودن آن است، ولی برای ضریب سیگنال (۲/۹۰۷) معنی‌دار شده است. در جدول ۵ نتایج تجزیه واریانس داده‌های ارزیابی مزرعه‌ای دقت سامانه هشدار دهنده نکاشت آورده شده

هشدار ثبت شده در حافظه سامانه را با دقت مطلوب به راننده هشدار می‌دهد. از جمله مزایای این سامانه کاهش خستگی راننده و کاربر کارنده حین کار است. با وجود این سامانه نیاز به برگشت مداوم و زیر نظر گرفتن چشمی مخزن و موزع دستگاه به طور چشم‌گیری کاهش می‌یابد و راننده می‌تواند با دقت بیشتری به هدایت تراکتور بپردازد.

۹۵٪ و برای فاصله‌های بیش از ۲/۵ متر به ۹۹/۸٪ می‌رسد. البته در عمل به دلیل قدرت پنجه‌زنی گیاه نیشکر فاصله‌های کمتر از نیم متر به عنوان نکاشت در نظر گرفته نمی‌شود، چرا که گیاهان اطراف فضای خالی را پر می‌کنند و نیازی به واکاری ندارد. این نتایج نشان می‌دهد که سامانه جهت رفع گرفتگی موزع و واکاری هم زمان با کاشت و حتی امکان واکاری بعدی با مراجعه به مکان‌های

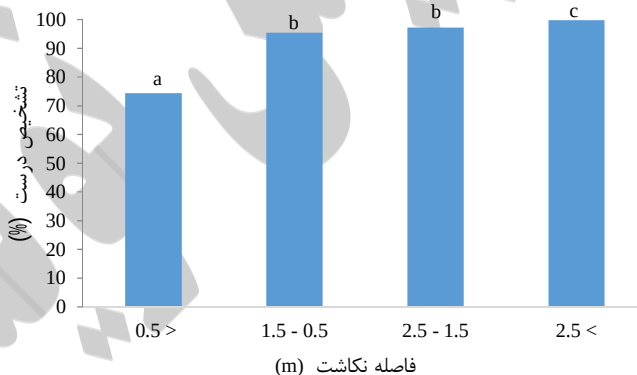
جدول ۴- ضرایب^۱ رگرسیون خطی

همبستگی‌ها			سطح معنی‌دار	t	ضرایب استاندارد Beta	ضرایب استاندارد نشده	
Zero-order	Partial	Part				B	Std. Error
			۰/۲۵۱	۱/۱۸۷		۴/۷۲۰	۳/۹۷۸
۰/۹۶۴	۰/۹۶۴	۰/۹۶۴	۰/۰۰۰	۱۵/۳۰۰	۰/۹۶۴	۲/۹۰۷	۰/۱۹۰

۱. متغیر وابسته: تعداد قلمه‌ها

جدول ۵- تجزیه واریانس داده‌های ارزیابی مزرعه‌ای دقت سامانه هشدار نکاشت

منبع تغییرات	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	مقدار F	سطح معنی‌داری
مقایسه بین گروهی	۲۰۴۴/۲	۳	۶۸۱/۴	۱۱۱/۲۴۹	۰/۰۰۰
مقایسه درون گروهی	۹۸	۱۶	۶/۱۲۵		
مجموع	۲۱۴۲/۲	۱۹			



شکل ۱۳- درصد هشدار درست موقعیت نکاشت سامانه در فواصل نکاشت مختلف

به دست آمد. نتایج نشان داد که با افزایش فاصله حسگر از محل سقوط به دلیل افزایش سرعت عبور قلمه‌ها دقت تشخیص کاهش می‌یابد. در ارزیابی مزرعه‌ای نیز دقت سامانه در تشخیص عبور قلمه‌ها از مقابل حسگر مورد ارزیابی قرار گرفت. مطابق نتایج، رابطه رگرسیون خطی با $R^2 = ۰/۹۲۹$ بین سیگنال اعلامی توسط سامانه و تعداد قلمه‌های ریزشی حقیقی توسط کارنده در شیار کشت به دست آمد که نشان دهنده دقت سامانه بر پایش قلمه‌های ریزشی حین کاشت است.

نتیجه‌گیری

در پژوهش حاضر، از سامانه مجهز به حسگر فراصوت به عنوان هشدار دهنده عمل نکاشت قلمه نیشکر در ماشین کارنده نیشکر استفاده شد. چهار نقطه با ارتفاع ۲۰، ۴۰، ۶۰ و ۱۰۰ سانتی‌متر از محل سقوط قلمه‌ها به منظور تعیین بهترین مکان برای نصب حسگر روی سامانه، در نظر گرفته شدند. با عبور قلمه‌های نی از مقابل حسگر در درون سامانه، دقت تشخیص حسگر فراصوت مورد ارزیابی قرار گرفت و بهترین مکان برای نصب حسگر روی سامانه

- Shadkam, G., Jafari, N.K., & Mohammadi, M.A. (2011). Estimation of suitable advance speed for harvesting machines using ultrasound. *Journal of Vibration and Sound*, 1(2): 20-26. (In Persian).
- Wang, M., Liu, Q., Ou, Y., & Zou, X. (2022). Experimental study of the planting uniformity of sugarcane single-bud billet planters. *Agriculture*, 12(7): 908.
- Zhai, C., Wang, X., Zhao, C., Zou, W., Liu, D., & Mao, Y. (2011). Orchard tree structure digital test system and its application. *Mathematical and Computer Modelling*, 54: 1145-1150.

فواصل نکاشت بیش از ۰/۵ متر به عنوان نقاط نیاز به واکاری در نظر گرفته می‌شوند. نتایج ارزیابی دقت سامانه هشدار دهنده در مزرعه نشان داد که سامانه در فواصل نکاشت بیش از ۰/۵ متر دقت تشخیص بیش از ۹۵ تا ۹۹/۸٪ دارد.

سپاسگزاری

از حمایت مالی معاونت محترم پژوهش و فناوری دانشگاه شهید چمران اهواز از این پژوهش در قالب پژوهانه به شماره SCU.AA99.505 تشکر و قدردانی می‌گردد. همچنین از مدیریت و کارکنان محترم شرکت پویاسازان صنعت سبز آوان و مدیریت کشت و صنعت هفت تپه که در انجام این پژوهش همکاری نمودند، سپاسگزاریم.

منابع

- Alighale, P., Mesri, G.T., Alighale, S., & Abddollahi, A. (2012). Use of ultrasonic sensor technology to detect the height of the product in the precision harvesting combine. *In The 8th National Congress on Agricultural Machinery Engineering (Biosystem) and Mechanization* (In Persian).
- Fricke, T., Richter, F., & Wachendorf, M. (2011). Assessment of forage mass from grassland swards by height measurement using an ultrasonic sensor. *Computers and Electronics in Agriculture*, 79(2): 142-152.
- Mansouri, N., Zakidizaji, H., Sheikhdavoodi, M. J., & Asakereh, A. (2019). Evaluation of different planting methods for sugarcane for Khuzestan Region. *Agricultural Mechanization and Systems Research*, 20(72): 73-90. (In Persian).
- Meamar, D. R., Minaei, S., & Khoshtaghaza, M. (2014). Quality analysis of pear fruit of Shah Miveh variety using nondestructive ultrasonic technique. *Journal of Agricultural Machinery*, 4(2): 324-334. (In Persian).
- Murali, P., & Balakrishnan, R. (2012). Labour scarcity and selective mechanisation of sugarcane agriculture in Tamil Nadu, India. *Sugar Tech*, 14(3): 223-228.
- Namjoo, M., & Razavi, J. (2013). Investigation of planting uniformity in a sugarcane billet planter with overlap planting pattern. *Journal of Researches in Mechanics of Agricultural Machinery*, 2(2).

Research paper

Design, construction and evaluation of a warning system for non-planted areas by the sugarcane planter

F. Mousavi Salehi¹, M. Esmail Khorasani Ferdavani^{2*}, Sh. Ghavami Jolandan³ and H. Masoudi⁴

Abstract

Today, despite significant technological advances and advanced equipment, the production of agricultural products is insufficient and is decreasing in most countries. Consequently, implementing new technologies to enhance the quality and quantity of agricultural products is crucial. In this study, an ultrasonic sensor-equipped system was employed as a warning unit for the non-planting of sugarcane billets in a sugarcane planting machine. The system was designed to detect billets at different speeds (2, 2.8, 3.4, and 4.5 m/s) to evaluate the detection accuracy of the ultrasonic sensor and determine the optimal sensor installation location. Data collection was conducted using a factorial experiment based on a completely randomized design. Data analysis and comparison of the averages were performed using SPSS (V16) software. The experimental results revealed that as the sensor's distance from the billets' falling position increased, the detection accuracy decreased due to the increase in billet speed. The system's accuracy in detecting billets passing in front of the sensor was evaluated in field tests. According to the results, a linear regression relationship with $R^2=0.929$ was obtained between the signal announced by the system and the actual number of fallen billets in the furrow. This indicates that the system is appropriate for monitoring fallen billets during planting. In evaluating the accuracy of the warning system in the field, the results showed that when non-planted distances were more than 0.5 meters, the system correctly announced the re-planting position in 95% to 99.8% of cases.

Keywords: Non-planted area, Sugarcane billets, Sugarcane planter, Ultrasonic sensor, Warning unit.

Citation: Mousavi Salehi F. Esmail Khorasani Ferdavani M. Ghavami Jolandan Sh. and Masoudi H. 2023. Design, construction and evaluation of a warning system for non-planted areas by the sugarcane planter. Journal of Researches in Mechanics of Agricultural Machinery. 29: ??-??.
<https://dx.doi.org/10.22034/JRMAM.2023.14179.643>

1- Master of Science, Department of Biosystems Engineering, Faculty of Agriculture, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran.

2- Assistant Professor, Department of Biosystems Engineering, Faculty of Agriculture, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran.

3- Assistant Professor, Department of Biosystems Engineering, Faculty of Agriculture, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran.

4- Associate Professor, Department of Biosystems Engineering, Faculty of Agriculture, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran.

* Corresponding Author: e.khorasani@scu.ac.ir

Received: 2023/01/01

Accepted: 2023/03/03

<https://dx.doi.org/10.22034/JRMAM.2023.14179.643>