

## طراحی و ساخت سیستم پایش عملکرد خطی کارها

هادی کریمی<sup>۱\*</sup>، حسین نوید<sup>۲</sup>، بهرام بشارتی<sup>۳</sup>

- ۱- استادیار پژوهشی بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان کرمان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرمان، ایران
- ۲- دانشیار گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران
- ۳- دانشجوی دکتری، گروه مهندسی ماشین های کشاورزی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران. کرج، ایران

تاریخچه مقاله	چکیده
دریافت: ۱۳۹۸/۱۲/۲۴ پذیرش نهایی: ۱۳۹۹/۰۵/۰۷	در فرآیند کاشت به وسیله خطی کارها، به دلیل مشکلاتی نظیر خرابی های سامانه های توزیع بذر، گرفتگی لوله های بذر، خالی شدن محفظه بذر و موارد مشابه عدم کاشت بذر می تواند به طور گسترده اتفاق بیافتد. سامانه پایش عملکرد خطی کار با ارائه بازخوردی برخط از وضعیت کاری قسمت های مختلف خطی کار، بازده عملیات کاشت را تا حد مطلوبی بهبود می دهد. برای طراحی و ساخت سامانه پایش عملکرد خطی کارها، حسگر جریان بذر مادون قرمز طراحی و در لوله سقوط خطی کارها نصب شد. جهت یافتن رابطه بین نرخ جریان جرمی و ولتاژ، حسگر به وسیله سکوی شبیه ساز موزع غلنتکی با سه نوع بذر که نماینده بذرهای درشت، متوسط و ریز بود تحت آزمایش قرار گرفت. با استنتاج از داده های آزمایش، مشخص شد که رابطه ای کاملاً قابل قبولی با ضریب تبیین ۹۴ درصد بین میانگین داده های ولتاژ و نرخ جریان جرمی بذر وجود دارد. در گام بعد، طراحی و ساخت سامانه پایش عملکرد خطی کارها مبتنی بر حسگرهای جریان بذر توسعه یافته انجام گرفت. سامانه پیشنهادی علاوه بر پایش عملیات کاشت، سطح بذر و کود موجود در مخزن خطی کار را به وسیله حسگرهای مسافت سنج فراصوت به طور پیوسته تخمین و نمایش می دهد. نتایج آزمون مزرعه ای برای سامانه پایش خطی کار، ضریب تبیین ۸۵ درصد بین میانگین داده های جریان جرمی حاصل از ترازو و سامانه پایش را نتیجه داد. در مجموع با نتایج و روابط حاصل از پژوهش امکان پایش عملیات کاشت و دریافت بازخورد از عدم کارکرد صحیح خطی کارها در مزارع کشاورزی میسر شد. نتایج و ضرایب تبیین آزمون مزرعه ای نسبت به نتایج آزمایشگاهی حسگر جریان بذر، ضعیف تر به نظر می رسد. این نتیجه ناشی از گرفتگی عناصر نوری حسگر توسط گردوغبار حاصل از ریزش بذرهای تشخیص داده شد. این غبار بیشترین تأثیر منفی را بر عملکرد سامانه پایش پیشنهادی داشت. ایجاد سامانه های مشابه مقاوم در برابر گردوغبار می تواند مورد توجه پژوهش های آتی باشد.
* عهده دار مکاتبات Email: h_karimi@areeo.ac.ir	

## مقدمه

خطی کارها کارنده‌هایی هستند که بذرها را در خطوط نزدیک به هم و با فاصله کم روی ردیف می‌کارند. در خطی کارها، نرخ کاشت از طریق موزع‌هایی تنظیم می‌گردد که در شیارهای خود ممکن است هر بار تعداد بذر متفاوتی داشته باشند. با توجه به ذات این نوع موزع‌ها، نمی‌توان از تغییر جریان بذر به‌طور کامل جلوگیری کرد (۱). از طرفی دیگر با افزایش سرعت پیشروی، کارنده‌ها با کاهش دقت در پراکنش بذرها مواجه خواهند شد (۱۳). بنابراین اگرچه مقدار پراکنش مورد نیاز مشخص است ولی نرخ کاشت ممکن است با توجه به عملکرد موزع و سرعت حرکت آن‌ها در درون مزرعه تغییر کند. همچنین به دلیل مشکلات احتمالی نظیر خرابی‌های سامانه‌های توزیع بذر، گرفتگی لوله‌های بذر، محفظه خالی بذر و موارد مشابه کاشت به‌طور کامل انجام نشود (۱۲).

در سال‌های اخیر سامانه‌های متعددی برای نظارت بر فرآیند کاشت توسعه یافته‌اند. فت‌آور (۷) با استفاده از مبدل پیزوالکتریک حسگر بذری فراصوتی را طراحی کرد. فت‌آور برای طراحی این سامانه از دو مبدل بهره برد. یک مبدل مجهز به یک مدار نوسان‌ساز که نقش فرستنده امواج فراصوت را برای سامانه دارد و امواج سینوسی را به مبدل دیگری که نقش گیرنده را دارد، ارسال می‌کرد. منابع فراصوتی در محیط آزمایشگاه را می‌توان حذف نمود تا اغتشاشی برگیرنده پیزوالکتریک فراصوت وارد نشود. ولی امکان این که در محیط مزرعه منابع فراصوتی اغتشاشگر وجود داشته باشد دور از انتظار نخواهد بود. چالش دیگر هم‌زمان‌سازی فرستنده و گیرنده فراصوت است که کاری دشوار و پیچیده است. تأثیر دما بر دامنه فراصوت نیز باعث می‌گردد در تابع جریان بذر تأثیرات دما قید شود که این متغیر بر سختی کار خواهد افزود.

استفاده از روش امواج مایکروویوی برای ساخت حسگر بذر توسط آمبورن (۳) با استفاده از آنتن سیمی

مایکروویوی انجام شد. در این روش آنتن در لوله سقوط نصب گردید و آنتن در یک فرایند، عملیات تولید و برای فرایند بعدی، عملیات جذب و پایش اشعه تولیدی را انجام می‌داد. تمامی اشعه تولیدی توسط مواد پلاستیکی جذب‌کننده، جذب می‌شد. به‌علت وجود صفحه منعکس‌کننده هیچ اشعه خارجی روی آنتن نمی‌توانست تأثیری بگذارد. مسئله مورد توجه در این روش تأمین تجهیزات پرهزینه پردازش سیگنال است. چون اشعه مورد استفاده در حدود ۱۰ گیگاهرتز دامنه نوسان داشته و ماشین‌های کاشت معمولاً دارای بیش از هشت عدد لوله سقوط می‌باشند که حسگرها بر روی آن نصب می‌شوند. پردازش هم‌زمان سیگنال این حسگرها و دامنه نوسان بالا از عهده هر مداری بر نمی‌آید و در صورت توسعه این سامانه در سطح تجاری با مشکلاتی همراه خواهد بود.

باکمن و دیکی<sup>۱</sup> (۴) یک حسگر خازنی بر مبنای اندازه‌گیری تغییر ظرفیت خازنی در مدار رزونانسی را برای جریان‌سنجی بذر را پیشنهاد داد. تشخیص بذر توسط این حسگر به مواردی چون ابعاد بذر، ثابت دی‌الکتریک بذر و فاصله بذر تا ناحیه حساس حسگر خازنی وابسته بود. حسگر خازنی بذر همچون روش مایکروویوی به‌علت نامرئی بودن امواج نیازی به تمیزکاری به‌صورت مداوم ندارد و چون با بذر به‌صورت غیرمستقیم در ارتباط است صدمه‌ای به بذر نمی‌رسد و در مقایسه با حسگر مایکروویوی بذر از تجهیزات کم‌هزینه‌تری برخوردار است ولی مسئله حائز اهمیت واسنجی حسگر است که با تأثیر دمای محیط بر ظرفیت خازنی حسگر با مشکل مواجه می‌شود.

الملاحی و همکاران<sup>۲</sup> (۱، ۲) و دینگ و همکاران<sup>۳</sup> (۶) از روش فیبر نوری به‌عنوان یک روش نوین برای تخمین جریان بذرها در خطی کارها استفاده کرده‌اند. الملاحی و همکاران (۱) از یک حسگر دیجیتالی

1- Bachman and Dickey

2- Al-Mallahi et al.

3- Ding et al.

باشد جریان بذر در لوله به صورت نرمال گزارش می شود. در حسگر این سامانه ۸ عدد سوراخ در پوسته اصلی برای قرارگیری ۴ حسگر فتوالکترونیک و ۴ دیود ساطع کننده نور مادون قرمز (LED) در نظر گرفته شد. ژیا و همکاران<sup>۳</sup> (۱۶)، با در نظر گرفتن کامل شرایط کاری در مزرعه، یک سامانه پایش را برای دقیق کارها طراحی کردند. در این سامانه، حسگر فتوالکترونیک و میکرو کامپیوتر MSP430 به ترتیب برای شناسایی عملکرد کاشت و پردازش داده استفاده شدند. هنگامی که بذرها از میان حسگر عبور می کردند سیگنال های پالس تولید شده به میکرو کامپیوتر منتقل می گشت. آنگاه میکرو کامپیوتر در مورد نرمال بودن و یا غیر نرمال بودن پالس های سیگنال تصمیم می گرفت. سامانه پیشنهادی حسگر نوری شامل مجموعه دیود نوری مادون قرمز و فتوترانزیستوری با تقویت کننده LM339 بود. نتایج نشان داد که قابلیت اطمینان سامانه هشدار دهی نور و صدا ۱۰۰ درصد است و حسگر فتولتائیک بیشتر از ۹۵ درصد بذرها عبور کرده را شناسایی می کند. گلدمن و همکاران<sup>۴</sup> (۱۰) سامانه ای برای تولید یک پروفایل کاشت از بذرها کشت شده توسط یک کارنده را پیشنهاد کردند. الگوی کاشت توسط یک پردازنده که با یک دستگاه زمان سنج و یک حسگر بذر در ارتباط بود امکان تولید داشت. دستگاه زمان سنج برای ارائه برچسب زمانی مرتبط با حضور بذرها نشانه گذاری شده توسط حسگر بذر، پیکربندی می شود. سامانه پیشنهادی می تواند با توجه به نقشه جمعیت بذرها در مزرعه مبتنی بر سرعت پیشروی کارنده و زمان رهاسازی بذرها، الگوی کاشت را به دست آورد. رحمان و کومار<sup>۵</sup> (۱۴) برای تشخیص وجود جریان دانه در لوله سقوط خطی کارها از حسگر مجهز به مدار مجتمع مادون قرمز و مدار میکروکنترلی آردوینو استفاده کردند که با عبور بذر اشعه مادون قرمز به

فیبرنوری (Keyence, FS-N10) برای تشخیص جریان بذر استفاده کردند. این حسگر شامل یک فرستنده و گیرنده نوری به همراه یک تقویت کننده بود. نور از طریق یک کابل نوری به سمت فرستنده ارسال و از سمت گیرنده به وسیله کابلی دیگر دریافت می گشت. نور با طول موج ۶۲۰ نانومتر از فرستنده به گیرنده به شکل پرتو ۳×۴۰ میلی متری حرکت و کل قطر لوله سقوط بذرها را پوشش می داد. با قطع پرتو نور به وسیله بذرها، سایه افتاده بر روی سطح گیرنده موجب اختلاف در شدت نور دریافتی می گشت. تقویت کننده، این اختلاف را به صورت یک سیگنال ولتاژ خروجی ترجمه می کرد. یکی از متداول ترین روش ها به منظور پایش کاشت در امتداد مسیر حرکت کارنده ها استفاده از حسگرهای نوری مادون قرمز است که به علت آسانی کاربرد و دقت خوب توسط پژوهشگران به کار برده شده است. عبور بذر از بین پرتوهای نوری مادون قرمز، مانع رسیدن این پرتوها به گیرنده می شود. عدم دریافت پرتوهای نوری به اندازه مناسب از طرف گیرنده، باعث تغییر ولتاژ حسگرهای دیود و تغییر ولتاژ خروجی به عبور جریان بذر تفسیر می گردد (۸). کوچر و همکاران<sup>۱</sup> (۱۱) در پژوهشی از یک درگاه نوری شامل یک آرایه ۴۸ تایی از دیودهای نوری متمرکز گیرنده نزدیک به مادون قرمز (NIR) و حسگرهای ترانزیستوری به صورت روبروی هم استفاده کردند. فو و همکاران<sup>۲</sup> (۹) یک سامانه پایش زمان واقعی برای نمایش وضعیت کاشت یک خطی کار چند کاناله را توسعه دادند. از حسگرهای فتوالکترونیک برای پایش خروجی ولتاژ در لوله سقوط استفاده شد. به طوری که اگر ولتاژ خروجی بزرگ تر از یک ولتاژ مشخص باشد سامانه پایش عدم وجود ریزش بذر و در غیر این صورت هنگامی که ولتاژ خروجی کمتر از مقدار مشخص شده باشد سامانه پایش گرفتگی در لوله بذر را اعلام می کند و در نهایت، هنگامی که ولتاژ در سیگنال فرکانسی ویژه

3- Xia *et al.*4- Goldman *et al.*

5- Raheman and Kumar

1- Kocher *et al.*2- Fu *et al.*

حبوبات در مزارع دارای بقایای ایستاده است. این خطی کار با عرض کار ۲۲۰ سانتی متر و ۱۳ واحد کاشت، دارای شیاربازکن‌های کاردی، چرخ‌های پرس شیار با قابلیت تنظیم فشار و کشت انواع بذور با فاصله‌های قابل تنظیم است. عمل کاشت بذر و کود در این خطی کار در عمق جداگانه صورت می‌گیرد. برای ارزیابی عملکرد سامانه پایش پیشنهادی، انواع مختلفی از بذره‌های حبوبات و غلات با توجه به ویژگی‌های فیزیکی آن‌ها از قبیل وزن، طول، عرض و ضخامت مورد استفاده قرار گرفت. با توجه به دفترچه راهنمای خطی کارهای مورد استفاده و جدول واسنجی مربوطه، بذره‌های نخود، گندم و جو و یونجه به ترتیب به‌عنوان نماینده‌ی بذره‌های درشت، متوسط و ریز انتخاب شدند. از بذره‌های نخود، گندم و یونجه برای آزمون‌های آزمایشگاهی و از بذر جو به‌عنوان نماینده بذر متوسط برای آزمون مزرعه‌ای سیستم پایش استفاده شد. جدول ۱ مشخصات این چهار نوع بذر را نشان می‌دهد.

### ساختار و اصول کاری سامانه پیشنهادی

طرح‌واره کلی سامانه پیشنهادی پایش عملکرد خطی کارها در شکل (۱) نشان داده شده است. در این سامانه حسگرهای جریان بذر در هر کدام از لوله‌های سقوط کارنده با توجه به تعداد ردیف‌های کاشت به‌طور جداگانه کار گذاشته شد. هنگامی که جریان بذرها، حسگرهای مورد نظر را تحریک کند سیگنال‌های تولیدی برای پردازش و تصمیم‌گیری به میکروکنترلر ارسال می‌گردد. میکروکنترلر با توجه به سیگنال‌های ورودی، همراه با برآورد میزان جریان بذر، وجود و یا عدم وجود جریان بذر را از طریق رابط گرافیکی به راننده تراکتور اعلام خواهد کرد. هم‌زمان با نمایش جریان بذر، سرعت پیشروی نیز توسط حسگر سرعت پیشروی اندازه‌گیری و در اختیار قرار می‌گیرد.

### اجزای سامانه پیشنهادی

سامانه پیشنهادی پایش عملکرد خطی کارها شامل حسگرهای جریان بذر، سرعت پیشروی، کنترلر سطح مخزن، واحد کنترل و پردازش و رابط گرافیکی است شکل (۱). انتخاب نوع حسگرها و تجهیزات دیگر با توجه به

حسگر بازتاب شده و بذر تشخیص داده می‌شد. این سامانه نمی‌تواند مقدار جریان را تشخیص دهد و کارکرد آن باعث می‌شود تنها از گرفتگی و سایر مشکلات مربوط به عدم وجود جریان بذر آگاه شد که توسط بازر و دیود نمایش جریان بذر به اپراتور اعلام می‌شود. با توجه به این که حسگر مدار مجتمع نسبت به تغییرات دامنه اشعه مادون قرمز عکس‌العملی نشان نمی‌دهد فقط برای شمارش یک بذر در یک لحظه مورد استفاده قرار می‌گیرد و به این دلیل در کپه کاری و خطی کاری کاربردی ندارد و اگر هم مورد استفاده قرار گیرد، تنها برای تعیین وجود یا عدم وجود جریان بذر استفاده می‌شود.

با توجه به اهمیت بومی‌سازی فناوری‌های نوین و همچنین نیازی که در این زمینه توسط تولیدکنندگان و کشاورزان اعلام شد، دستیابی به سامانه‌ای کارآمد در زمینه‌ی پایش برخط عملکرد خطی کارها و ارائه بازخورد هم‌زمان از وضعیت کاری خطی کار به کاربر در شرایط مزرعه‌ای، موضوع این طرح قرار داده شد. بررسی‌های انجام گرفته نشان می‌دهد که تاکنون سامانه‌ای برای پایش برخط عملکرد خطی کارها در کشور توسعه نیافته است. با راه‌اندازی چنین سامانه‌ای کیفیت کاری خطی کار به‌صورت برخط در هنگام عملیات کاشت پایش شده و در اختیار کاربر قرار خواهد گرفت. با در اختیار داشتن میزان پراکنش واقعی بذره‌های کاشته شده و مطلع شدن از اختلال احتمالی در کار خطی کار کاربر می‌تواند اقدامات مقتضی با آن را انجام دهد. هدف این پژوهش، طراحی سامانه‌ای بر پایه فناوری‌های جدید برای پایش برخط عملکرد خطی کارها در مزرعه است.

### مواد و روش‌ها

#### مواد آزمایشی

بذرکار - خودکار (کشت مستقیم) دیم - ASKE-2200 ساخت شرکت سازه کشت کاوه برای تجهیز و توسعه سامانه پایش پیشنهادی انتخاب شد. خطی کار ASKE-2200 مخصوص کاشت مستقیم غلات -

سامانه پیشنهادی علاوه بر پایش عملیات کاشت، میزان بذر موجود در مخزن خطی کار را از طریق رابط گرافیکی به طور پیوسته به راننده تراکتور نشان می‌دهد. در نهایت پس از برآورد میزان بذر به ازای هر واحد سطح و ثبت موقعیت مکانی توسط حسگر موقعیت یاب، داده‌ها به نرم‌افزارهای مربوطه انتقال و پس از اعمال تصحیحات و پردازش‌های لازم نقشه کاشت مزرعه تهیه خواهد شد.

### طراحی و توسعه حسگرهای جریان بذر

سامانه پیشنهادی از طریق این حسگرها جریان بذرهای خروجی از خطی کار را پایش می‌کند. بررسی پژوهش‌های مربوط به حسگر جریان بذر فراصوت، مایکروویو و فیبرنوری نشان داد که استفاده از این نوع حسگرها با توجه به نیاز به جایگذاری به تعداد لوله‌های سقوط کارنده به دلیل هزینه بالای تجهیزات در روند تجاری سازی دارای صرفه اقتصادی نیست. با توجه به هدف گذاری انجام شده برای استفاده از سامانه پایش در مزرعه، روش‌هایی مانند پردازش صوت و خازنی به دلیل تأثیرپذیری از شرایط مزرعه‌ای و محیط مناسب این پژوهش تشخیص داده نشد. از این میان حسگرهای دارای عناصر نوری مادون قرمز به دلیل تأثیرپذیری کمتر از شرایط محیطی، قیمت مناسب، طراحی ساده و امکان تجاری سازی در آینده بیشترین توجه را به خود جلب کرد.

حسگر بذر مادون قرمز در این مرحله برای نصب در سامانه پایش عملکرد خطی کارها توسعه داده شد. حسگر مادون قرمز توسعه داده شده در بخش فرستنده از ۱۰ عدد دیود مادون قرمز با قطر ۳ میلی متر، زاویه انتشار ۴۰ درجه و توان ۵۰ میلی وات برای انتشار اشعه مادون قرمز تشکیل شده است. دیودها در دو ردیف قرار گرفته‌اند تا هم پوشانی لازم ایجاد شده و بذری از دسترس عنصرهای نوری خارج نشود (شکل ۲). در بخش گیرنده اشعه مادون قرمز که در طرف مقابل فرستنده جاگذاری شد از ۱۰ عدد حسگر دیودی مادون قرمز در دو ردیف (با آرایشی دقیقاً مشابه گیرنده) برای دریافت اشعه استفاده گردید. واحد گیرنده با دریافت اشعه مادون قرمز، ولتاژ صفر و با عدم دریافت اشعه مادون قرمز، ولتاژ بالای صفر به میکروکنترلر پیک (PIC18F4550)

موارد زیر انجام گرفت: کارآمدی مورد انتظار (دقت موردنیاز)، مسائل اقتصادی (هزینه تمام شده سامانه) و میزان در دسترس بودن قطعات و تجهیزات در بازارهای داخلی. با در نظر گرفتن موارد ذکر شده سامانه پایش به گونه‌ای طراحی شد که امکان تولید تجاری آن به شکل انبوه در آینده وجود داشته باشد.

با دریافت میزان جریان بذر و سرعت پیشروی، نرخ کاشت بر حسب تعداد در هکتار یا کیلوگرم در هکتار از رابطه (۱) محاسبه می‌شود (۱۵).

$$R_s = \frac{10000 Q P_b}{W.V} \quad (1)$$

که در آن،

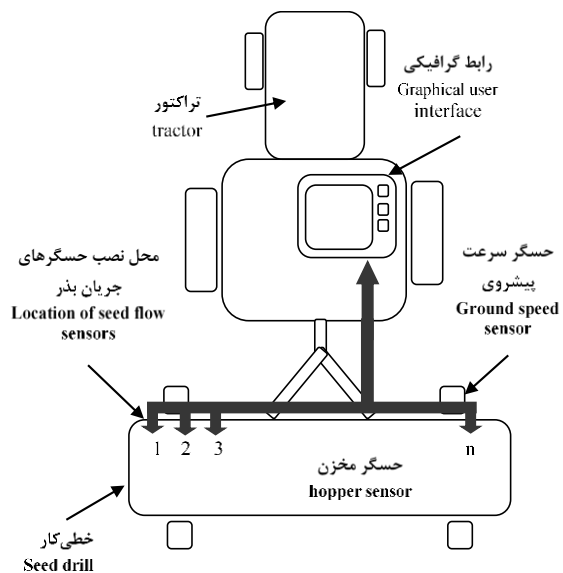
$R_s$  = نرخ کاشت (کیلوگرم در هکتار)

$Q$  = دبی بذر خارج شده از موزع (لیتر بر ثانیه)

$P_b$  = جرم مخصوص بذر (کیلوگرم بر لیتر)

$W$  = عرض کار کارنده (متر)

$V$  = سرعت پیشروی کارنده (متر بر ثانیه)



شکل (۱) طرح‌واره کلی سامانه پیشنهادی پایش عملکرد خطی کارها

Figure (1) General scheme of the proposed seed drill performance monitoring system

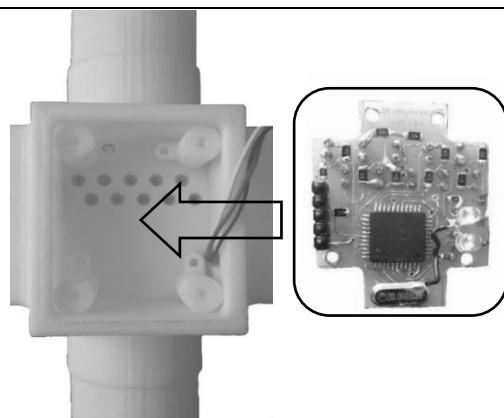
جنس ولتاژ ایجاد می‌شود. در مرحله بعد دستور ایجاد ولتاژ تحت استاندارد ارتباطی ISP به تراشه مبدل دیجیتال به آنالوگ داده می‌شود و ولتاژ توسط مبدل تولید شده و به گذرگاه می‌رسد. به‌طور کلی حسگر برای هر حسگر دیودی ۰/۴ ولت اختصاص می‌دهد. یعنی اگر بذرها در مقابل همه ۱۰ حسگر قرار گیرد و گیرنده‌ها اشعه‌ای دریافت نکنند ولتاژ ۴ ولت تولید می‌شود و اگر بذری عبور نکند صفر ولت تولید خواهد شد.

تحويل می‌داد. میکروکنترلر به گونه‌ای برنامه‌نویسی شده بود که توسط مبدل آنالوگ به دیجیتال داخلی، مقدار عددی داده‌های هر گیرنده مادون قرمز را ثبت کرده و به ولتاژهای بالای صفر عدد یک و به ولتاژهای صفر عدد صفر را نسبت و مقدار باینری ۱۰ عدد را با هم جمع کند و در عدد ۰/۴ ضرب کند تا در صورت یک شدن ۱۰ عنصر مادون قرمز ولتاژ ۴ ولت ایجاد شود (معادله ۲). چراکه امکان تولید ولتاژ بیش از ۵ ولت در خروجی میسر نبود. با این شرایط خروجی آنالوگ از

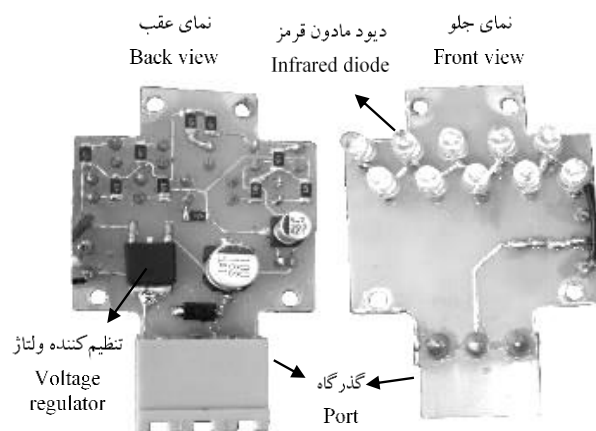
جدول (۱) مشخصات بذرهاي مورد آزمون برای ارزیابی حسگر بذر

Table (1) Characteristics of the seeds used for the evaluation of the seed sensor

نوع بذر Seed Type				مشخصه
جو barley	یونجه Alfalfa	گندم Wheat	نخود Pea	
9.18	2.16	6.40	11.04	طول (میلی متر) Length (mm)
3.16	1.43	2.94	7.92	عرض (میلی متر) Width (mm)
2.45	0.87	3.15	8.03	ضخامت (میلی متر) Thickness (mm)
4.13	1.39	3.90	8.89	قطر هندسی (میلی متر) Geometric diameter (mm)
0.45	0.64	0.60	0.80	کروییت sphericity
43.38	2.30	37.60	472.33	وزن هزار دانه (گرم) Thousand-grain weight (g)



شکل (۳) پوسته حسگر جریان بذر نمونه‌سازی توسط چاپگر سه بعدی  
Figure (3) Seed flow sensor shell prototyped by 3d printing



شکل (۲) نحوه آرایش عناصر نوری فرستنده اشعه مادون قرمز  
Figure (2) Arrangement of optical elements transmitting infrared radiation

نظر گرفتن وزن هزار دانه، جریان جرمی بذره‌های سقوط کرده را تخمین زد. ولی در عمل برخلاف دقیق کارها که بذر را به صورت جداگانه و بافاصله مشخص کشت می‌کنند، موزع خطی کارها بذرها را به صورت حجمی سنجش و به لوله سقوط تحویل می‌دهد. بنابراین به دلیل جریان توده‌ای شکل به وجود آمده همیشه بذرهایی از دسترس حسگر بذر خارج خواهند شد. با توجه به ریزش توده‌ای بذرها از لوله سقوط خطی کارها برای رابطه‌یابی از آزمایش تجربی ریزش بذر استفاده شد. در این رابطه حسگر بذر مادون قرمز توسعه داده شده در سکوی شبیه‌ساز جریان بذر مورد آزمایش قرار گرفت. آزمایش با توجه به مشخصات کاشت واقع در دفترچه راهنمای کارنده‌های شرکت سازه کشت کاوه بوکان (جدول ۲)) با سه نوع بذر نخود، گندم و یونجه به ترتیب به عنوان نماینده بذره‌های درشت، متوسط و ریز برای کاشت‌های رایج خطی کاری در سه تکرار انجام گرفت.

با در نظر گرفتن محدوده سرعت پیشروی معمول خطی کارها (۶ تا ۱۰ کیلومتر در ساعت) و استفاده از معادله (۱)، بازه نرخ جریان جرمی بذر عبوری از لوله سقوط تعیین گردید (جدول ۳)). ردیف دوم جدول (۳) تعداد بذر عبوری را نشان می‌دهد که با توجه به وزن هزار دانه آن‌ها به دست آمده است. نرخ‌های جرمی مختلف با توجه به سینماتیک سامانه راه‌انداز موزع، مورد آزمایش قرار گرفت. برای هر سه نوع بذر این با تغییر میزان فرکانس موتور الکتریکی توسط مبدل موتور الکتریکی حاصل شد. برای غلبه بر مشکل عدم تطابق زمانی بین ولتاژ و نرخ جرمی، داده‌های نرخ جرمی ترازو با فرکانس ۵ هرتز و داده‌های حسگر با فرکانس ۱۰ هرتز ثبت شدند و برای ایجاد رابطه بین نرخ وزنی و ولتاژ دریافتی از حسگر بذر، داده‌های ولتاژی و نرخ جرمی در

$$V_0 = \frac{f}{\omega} \times n \quad (2)$$

طی زمان یک ثانیه به صورت جداگانه با هم جمع گردیدند تا داده‌ها در بازه زمانی یکسان با هم مقایسه و

برای قرارگیری عناصر نوری در روزنه‌ها و هم‌محور کردن دقیق عناصر گیرنده و فرستنده در مقابل یکدیگر پوسته متناسبی در نرم‌افزار سالی‌دورک طراحی و توسط چاپگر سه بعدی نمونه‌سازی شد. این پوسته علاوه بر تنظیم محل قرارگیری عناصر نوری، پوسته‌ای برای قرارگیری مدارهای فرستنده و گیرنده بود که به آسانی می‌توانست به لوله سقوط کارنده متصل شود.

### توسعه الگوریتم تخمین جریان جرمی

برای انجام آزمایش‌های ارزیابی حسگر بذر، واسنجی آن و یافتن رابطه‌ای بین ولتاژ دریافتی و نرخ بذر عبوری، از یک سکوی شبیه‌ساز جریان بذر استفاده شد. بخش مکانیکی این سکو شامل مخزن بذر، موزع غلتکی و لوله سقوط می‌گشت. بخش جمع‌آوری داده نیز شامل حسگر بذر از نوع مادون قرمز، ترازو، ثبات داده یک کاناله، منبع تغذیه ۱۲ ولتی برای حسگر بذر و منبع تغذیه ۹ ولتی برای ترازوی دیجیتالی و رایانه بود. حرکت دورانی موزع از طریق تسمه و پولی از یک موتور الکتریکی AC با توان ۰/۵ اسب بخار تأمین می‌شد. برای دسترسی به نرخ‌های مختلف جریان جرمی بذر سرعت‌های ۵/۵ تا ۳۱ دور بر دقیقه با تغییر دور موتور توسط مبدل تأمین گردید. جریان بذرها بعد از رها شدن از مکانیسم موزع از درگاه نوری حسگر بذر عبور و در درون ظرف جمع‌آوری بر روی ترازو دیجیتالی جمع‌آوری می‌شد. در طول مدت آزمون ترازو وزن تجمعی و حسگر بذر ولتاژ مربوط به جریان بذر را به وسیله ثبات داده به رایانه برای ثبت در نرم‌افزار اکسل می‌فرستادند.

با توجه به موارد یاد شده برای ایجاد خروجی آنالوگ معادله (۲) رابطه بین ولتاژ خروجی گذرگاه حسگر بذر ( $V_0$ ) و تعداد بذر عبوری ( $n$ ) را نشان می‌دهد.

اگر بذرها در یک خطوط مشخص نسبت به هم از درگاه نوری حسگر بذر عبور کنند با توجه به معادله ۲ می‌توان تعداد بذر عبوری از لوله سقوط را حساب و با در

**حسگر سرعت پیشروی**

حسگر اثرهال UGN3144 ساخت شرکت Allegro MicroSystems برای سنجش سرعت گردش چرخ‌های حمل‌کننده خطی کار و در پی آن تخمین سرعت پیشروی استفاده شد. محل نصب حسگر در بدنه خطی کار به گونه‌ای انتخاب گردید که گردش مغناطیس متصل به محور چرخ را در هر دور گردش حس و با تخمین فاصله زمانی، سرعت دورانی را محاسبه نماید (شکل (۵)).

ارزیابی شوند و هدف پژوهش، یعنی برآزش رابطه ریاضی بین نرخ جرمی و ولتاژی دریافتی از حسگر بذر تضمین گردد. پوسته حسگر جریان بذر به تعداد واحدهای کاشت هر کارنده توسط پرینتر سه‌بعدی تکثیر شده و در مسیر ریزش بذر در لوله‌های سقوط نصب شدند. بیش‌ترین تلاش در این جهت صورت گرفت که مکان نصب تا حد امکان به زمین نزدیک‌تر باشد به این ترتیب پایش جریان بذر تا آخرین لحظات گذر از لوله سقوط امکان‌پذیر می‌شد (شکل (۴)).

جدول (۲) مشخصات کاشت کارنده‌ها خطی کارهای شرکت کشت‌سازه کاوه بوکان

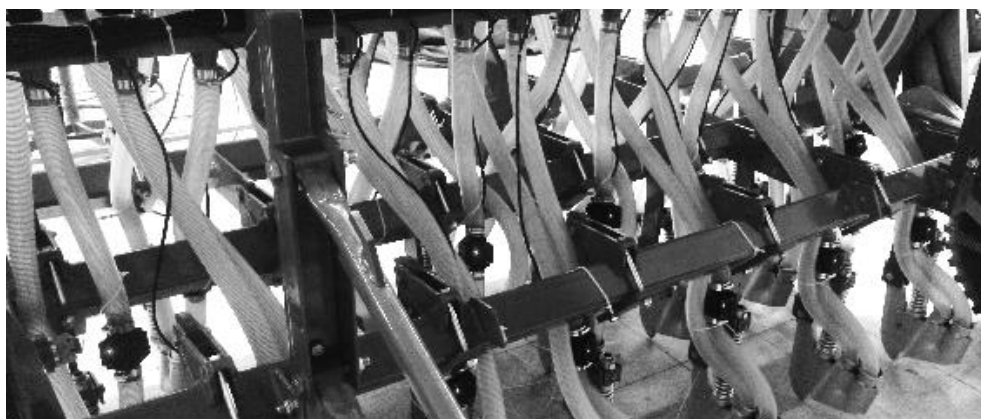
Table (2) Sowing specifications of the seed drill of Boukan Saze-kesht agricultural implement manufacturing company

نرخ کاشت (کیلوگرم بر هکتار)			فاصله ردیفی
یونجه	گندم	نخود	Row spacing (cm)
Alfalfa	Wheat	Pea	
2-110	1.5-363.5	1.5-285	12.5
5-145	6-448	5-177	17

جدول (۳) محدوده نرخ کاشت خطی کارها شرکت سازه کشت کاوه بوکان

Table (3) Range of sowing rate of the seed drill of Boukan Saze-kesht agricultural implement manufacturing company

یونجه	گندم	نخود	شاخص کاشت
Alfalfa	Wheat	Pea	Sowing index
0.057-5.30	0.042-17.16	0.042-13.45	نرخ جرمی (گرم بر ثانیه) Mass Rate (g / s)
25-2260	1-400	0.1-30	نرخ عددی (بذر بر ثانیه) Numerical Rate (Seed Per Second)



شکل (۴) محل نصب حسگرهای جریان بذر

Figure (4) The location of the seed flow sensors





شکل (۵) نصب سامانه پایش بر بذرکار - کودکار (کشت مستقیم) دیم ASKE-2200

Figure (5) Installation of the seed monitoring system on the ASKE-2200 a Planter-Fertilizer (direct sowing)

شکل (۵) محفظه پلاستیکی نگهدارنده واحد کنترل و پردازش را نشان می‌دهد. این محفظه علاوه بر جای دادن بردهای آردوینو مربوطه به واحد کنترل و پردازش، برای نگهداری بخش‌هایی چون رله، فیوز، ماژول‌های مبدل ولتاژ برای فراهم‌آوری ولتاژ ۵ ولت و ۹ ولت (برای حسگرهای جریان بذر)، ماژول کارت حافظه و ماژول GPS استفاده گردید.

#### حسگر کنترل سطح بذر مخزن

حسگر فراصوت HC-SR04 ساخت شرکت HandsOn برای سنجش سطح مواد دانه‌ای انباشته‌شده در مخزن خطی کار استفاده گردید. از دو حسگر فراصوت در مخزن بذر و کود نصب و با توجه به ظرفیت و عمق مخزن واسنجی شدند، به طوری که کاربر تراکتور در هنگام عملیات کاشت نسبت به سطح بذر و کود در مخزن بازخورد مناسب را از طریق رابطه گرافیکی دریافت کند. عمق مخزن بذر حدوداً ۲۵ سانتی‌متر بود. با توجه به این عمق محدوده سنجش حسگر تعیین گردید با تخمین فاصله ۲۵ سانتی‌متر رابط گرافیکی مخزن را خالی و با تخمین فاصله صفر، مخزن را پر نشان می‌داد. نمایش سطح بذر در مخازن به گونه‌ای بود که حسگر کنترل سطح مخزن در هنگام عملیات کاشت کاربر تراکتور را نسبت به وضعیت سطح بذر و کود از طریق رابط گرافیکی آگاه کند.

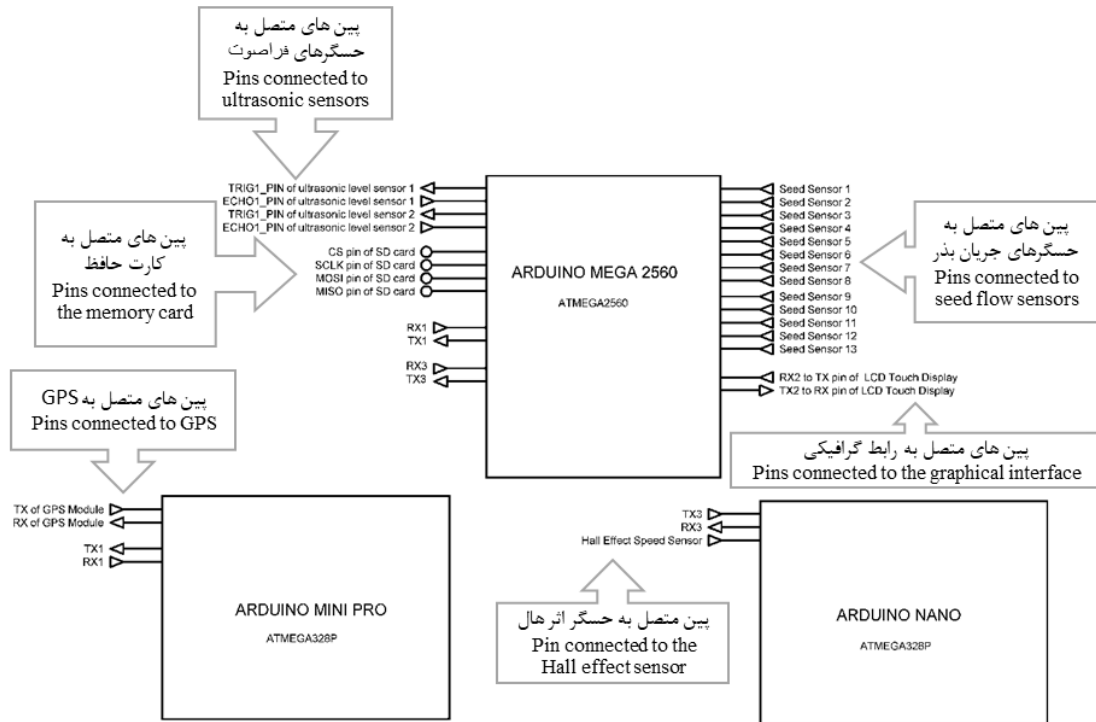
#### واحد کنترل و پردازش

از میکروکنترلر ۸ بیتی ATmega2560 ساخت شرکت Atmel برای پردازش و جمع‌آوری اطلاعات استفاده شد. از درگاه آنالوگ این برد برای ورود اطلاعات حسگرهای جریان بذر به واحد میکروکنترلر استفاده گردید. نحوه ارتباط و جمع‌آوری داده در واحد کنترل و پردازش توسعه داده شده برای بذرکار - کودکار (کشت مستقیم) دیم ASKE-2200 در شکل (۶) نشان داده شده است.

از آنجایی که این کارنده دارای ۱۳ لوله سقوط می‌باشد در طراحی انجام گرفته برای این کارنده، ۱۳ درگاه آنالوگ به دیجیتال میکروکنترلر ATmega2560، برای دریافت داده‌های حسگرهای جریان بذر اختصاص داده شد. از درگاه‌های سریال شماره ۱ و ۳ مربوط به تراشه ATmega2560 برای ارتباط با دو میکروکنترلر Atmega328p در قالب بردهای آردوینو پرو مینی و نانو استفاده شد. وظیفه این میکروکنترلرها به ترتیب محاسبه سرعت پیشروی و کسب اطلاعات از ماژول GPS و انتقال آن به میکروکنترلر ATmega2560 است. میکروکنترلر ATmega2560 پس از دریافت داده‌های حسگرها محاسبات مربوطه را انجام می‌دهد. سپس هم‌زمان با ذخیره اطلاعات در کارت حافظه، اطلاعات از طریق درگاه سریال شماره ۲ به رابط گرافیکی منتقل و نمایش داده می‌شود.

کریمی و همکاران: طراحی و ساخت سیستم...

میکروکنترلر ATmega2560 از طریق درگاه‌های سریال RX1: TX1 و RX3: TX3 با دو میکروکنترلر Atmega328p ارتباط دارد  
The Atmega2560 microcontroller connected to two Atmega328p microcontrollers through the serial ports RX1: TX1 and RX3: TX3



شکل (۶) واحد کنترل و پردازش نصب شده برای دستگاه کشت مستقیم دیام ASKE-2200  
Figure (6) Control and processing unit installed for direct planter of ASKE-2200

داشته باشد. برد نمایشگر انتخابی با توجه به مشغول بودن واحد کنترل و پردازش به دریافت و پردازش اطلاعات حسگرهای دیگر، باید کمترین توان پردازشی را به خود اختصاص دهد.

با توجه به موارد مذکور، نمایشگر صفحه لمسی ساخت شرکت Nexion با قابلیت اتصال به میکروکنترلر از طریق درگاه سریال UART به عنوان رابط گرافیکی انتخاب شد. این پروتکل ارتباطی دو سیمه بین صفحه نمایشگر و واحد کنترل و پردازش ایجاد می‌کند. شرکت تولیدکننده رابط گرافیکی انتخابی نکسشن همانند بسیاری از تولیدکنندگان از پردازنده ۳۲ بیتی خانواده ARM به دلیل مصرف توان اندک، سرعت پردازش زیاد و قیمت بسیار اندک استفاده کرده است. برنامه‌نویسی و طراحی گرافیکی در ویرایشگر نکسشن

### توسعه رابط گرافیکی

رابط گرافیکی به گونه‌ای طراحی شد که امکان پایش مناسب و آنلاین وضعیت کاری خطی کار در مزرعه فراهم شود. اطلاعاتی چون دبی جریان بذر خروجی، سرعت پیشروی کارنده، موقعیت جهانی کارنده و مقدار بذرها در مخزن خطی کار به صورت هم‌زمان به راننده تراکتور با استفاده از این رابطه گرافیکی گزارش می‌شود.

نمایشگر انتخابی برای سامانه پایش، باید ابعاد مناسبی برای نمایش کامل اطلاعات ورودی از حسگرها را می‌داشت به طوری که کاربر پسند بوده و به خوبی برای راننده تراکتور قابل رویت باشد. همچنین نمایشگر باید با توجه به محدودیت‌های درگاه‌های میکروکنترلر انتخابی واحد کنترل و پردازش باید کمترین تعداد درگاه را نیاز

### واسنجی و ارزیابی مزرعه‌ای سامانه

اجزای سامانه پیشنهادی به صورت جداگانه تنظیم، واسنجی شد و عملکرد هر کدام از اجزا مورد ارزیابی قرار گرفت. عملکرد سامانه پیشنهادی، توسط آزمون‌های مزرعه‌ای کاملاً تصادفی در قالب آزمایش فاکتوریل برای بذر جو ارزیابی شد. با توجه به سرعت‌های رایج کاشت، آزمون مزرعه‌ای در سه سطح سرعت ۷، ۸ و ۹ کیلومتر در ساعت و سه سطح نرخ ریزش ۵۴، ۱۲۳ و ۲۶۹ کیلوگرم در هکتار در سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی واقع در اراضی کرکج دانشگاه تبریز انجام گرفت. داده برداری از خطی کار در مسافت تقریبی ۱۶۵ متر به تعداد ۲۷ مرتبه با شبیه‌سازی عمل کاشت انجام شد. توانایی سامانه پایش در برآورد مقدار بذر کاشته شده با جمع‌آوری بذر خروجی از لوله سقوط مورد ارزیابی قرار گرفت. برای این کار، انتهای لوله‌های سقوط از شیار بازکن جدا شده و در داخل کیسه‌های مخصوصی قرار داده شد به طوری که بذره‌های خروجی از هر لوله سقوط در داخل آن‌ها جمع‌آوری و توزین می‌شدند (شکل ۸).

### تحلیل نتایج

#### رابطه‌یابی بین ولتاژ و نرخ جریان جرمی

یافتن رابطه بین ولتاژ و نرخ جریان جرمی هدف اصلی این بخش است. ضریب هم‌بستگی محاسبه شده برای بذره‌های مختلف در جدول (۴) آورده شده است. با توجه به مقادیر هم‌بستگی بالای هر سه نوع بذر، امکان برقراری رابطه جرمی-ولتاژی وجود دارد. هر چند که همبستگی بذر نخود از مقدار کمتری در مقایسه با همبستگی بذر گندم و یونجه دارد.

با توجه به این که ضریب هم‌بستگی، وابستگی مطلوب بین دو متغیر ولتاژ و نرخ جرمی را برای هر سه نوع بذر مشخص کرد، روابط برازشی برای این دو متغیر ممکن شد. در جدول (۵) روابط برازشی نرخ جرمی-ولتاژی حسگر مادون قرمز به همراه ضرایب تبیین برای هر سه نوع بذر آورده شده است و در آن‌ها نرخ جرمی

(nextion-setup-v047) که توسط شرکت تولیدکننده رابط گرافیکی انتخابی توصیه شده بود انجام گردید. پل ارتباطی بین واحد کنترل و پردازش سامانه پیشنهادی پایش عملکرد خطی کار و رابط گرافیکی از طریق درگاه سریال تأمین می‌گشت. به طوری که واحد کنترل و پردازش به وسیله این درگاه دستورات مربوطه را از صفحه لمسی نمایشگر دریافت و اطلاعات مربوط به کاشت را ارسال می‌کرد. رابط گرافیکی سامانه در پنج صفحه کلی شامل صفحه راه‌اندازی، تنظیمات سامانه پایش، نمایش میله‌ای کیفیت کاشت، نمایش رقمی اطلاعات کاشت و صفحه اطلاعات مکانی و زمانی طراحی شد. رابطه گرافیکی به گونه‌ای طراحی شده که دستگاه برای شروع به پایش در انتظار ورود اطلاعات تنظیمی از سوی کاربر از طریق صفحه لمسی باقی می‌ماند. اطلاعات تنظیمی شامل نام مزرعه، عرض کارنده برای سنجش کیلوگرم در هکتار، وزن هزار دانه و قطر هندسی برای محاسبه جریان جرمی با توجه به مدل‌سازی از پایش انجام گرفته است. نام مزرعه، نام فایل ذخیره شده در کارت حافظه را تعیین می‌کند. ثبت و شروع به کار سامانه پایش با فشردن کلید تنظیم انجام می‌گیرد. پس از فشردن کلید ثبت (کلید تنظیم) صفحه نمایشگر دستور مربوط به شروع پایش را به واحد کنترل و پردازش ارسال می‌کند (شکل ۷).



شکل (۷) صفحه تنظیمات سامانه پایش در رابط گرافیکی

سامانه پیشنهادی پایش

Figure (7) Monitoring system settings page in the proposed GUI

پرتوها سقوط می کنند نمی توانند پرتوها را به طور کامل قطع کنند ولی با افزایش نرخ، بذرها بهتر می توانند پرتوها را قطع نموده و مقدار ولتاژ به صورت نمایی افزایش می یابد. همچنین به دلیل این که نخود دارای جثه بزرگتری است با پایش نکردن یک واحد از نخود توسط حسگر بذرها مقدار خطای بیشتری در مقایسه با سایر دانه ها ایجاد می شود که پایین تر بودن مقدار عددی ضریب تبیین مربوط به آن را توجیه می کند.

به عنوان متغیر وابسته و ولتاژ به عنوان متغیر مستقل در نظر گرفته شده است. با توجه به ضرایب تبیین شرایط برای بذرها گندم بهتر بوده و رابطه خطی بهتری برآزش شده است. دلیل این موضوع نزدیکی مقدار قطر هندسی بذرها به قطر عنصرهای مادون قرمز است. برای بذرها یونجه نمودار نرخ جرمی-ولتاژ تمایل به غیرخطی شدن دارد و رابطه نوع درجه دوم نیز برآزش شده است. دلیل غیرخطی بودن برای بذرها یونجه به علت کوچک تر بودن قطر هندسی بذرها نسبت به قطر عنصرهای نوری است چراکه در نرخ های پایین وقتی بذرها یونجه از میان



شکل (۸) جمع آوری بذرها ی خروجی از هر لوله سقوط در طول آزمایش مزرعه ای  
Figure (8) Seed collection from each fall pipe during field experiment

جدول (۴) ضریب همبستگی محاسبه شده بین نرخ جرمی و ولتاژ حسگر جریان بذرها

Table(4) Calculated correlation coefficient between mass rate and voltage of seed flow sensor

یونجه	گندم	نخود	
Alfalfa	Wheat	Pea	
0.93	0.95	0.76	همبستگی Correlation

جدول (۵) رابطه نرخ جرمی-ولتاژی برای بذرها نخود، گندم و یونجه در حسگر جریان بذرها

Table (5) Relationship between mass-voltage ratio for chickpea, wheat and alfalfa seed in seed flow sensor

رابطه	نوع بذرها	ضریب تبیین
Equation	Seed Type	Coefficient of Determination
$Q = ۲/۷۰۹ v$	نخود Pea	0.92
$Q = ۱/۰۱۰ v$	گندم Wheat	0.97
$Q = ۰/۳۹۶ v$	یونجه Alfalfa	0.92
$Q = ۰/۴۹۶ v - ۰/۰۰۹ v^۲$	یونجه Alfalfa	0.96

تصحیح ۲/۰۱۷ را به صورت رابطه (۴) اصلاح کرد. از رابطه (۵) برای تخمین جریان جرمی در طول آزمایش مزرعه‌ای سامانه پایش استفاده شد.

$$y = 0.17/2 x \quad (4)$$

$$Q = 0.17/2 \times 442/0 \times \left(\frac{w}{d^2}\right) v \quad (5)$$

### نتایج آزمون مزرعه‌ای خطی کار

نتایج مربوط به حسگر جریان بذر لوله سقوط شماره دو (به‌عنوان نمونه) در شکل (۱۱) نشان داده شده است. این شکل ضریب تبیین ۸۵ درصدی را بین میانگین داده‌های وزنی به‌دست آمده از ترازو و داده‌های میانگین مربوط به تخمین جریان جرمی بذر توسط سامانه پایش نشان می‌دهد. نتایج به‌دست آمده از آزمون مزرعه‌ای نسبت به نتایج آزمایشگاهی حسگر جریان بذر، ضعیف‌تر به نظر می‌رسد. این ضریب تبیین پایین‌تر ناشی از گرفتگی عناصر نوری حسگر توسط گرد و غبار حاصل از ریزش بذرها تشخیص داده شد. این غبار بیش‌ترین تأثیر منفی را بر عملکرد سامانه پایش پیشنهادی داشت.

خطای مطلق قدر مطلق اختلاف بین مقدار محاسبه شده  $x_0$  با مقدار واقعی  $x_1$  است که طبق رابطه زیر به‌دست می‌آید و با  $\Delta x$  نمایش داده می‌شود (رابطه ۶). از این معیار برای سنجش توانایی حسگر در تخمین جریان جرمی بذرها استفاده شد. شکل (۱۲) مربوط به خطای مطلق بین داده‌های تخمین زده توسط سامانه پایش و داده‌های واقعی مربوط به توزین کیسه‌های بذر هست. شکل (۱۲) نشان می‌دهد که با افزایش جریان جرمی خطای تخمین بیشتر خواهد شد. این خطا ناشی از ساختار دیجیتالی حسگر تشخیص داده شد به‌طوری که با افزایش دبی و افزایش هم‌پوشانی بین بذرها تعداد بیشتری از بذرها حس نشده باقی خواهند ماند.

### تحلیل آماری نتایج آزمون مزرعه‌ای

جدول (۶) و جدول (۷) نتایج مستخرج از نرم‌افزار IBM SPSS Statistics 24 را نشان می‌دهد. جدول (۷) نشان می‌دهد که در سطح احتمال ۱ درصد اثر فاکتورهای سرعت

با توجه به آزمایش‌های انجام گرفته، رابطه‌یابی بین نرخ جرمی جریان بذر و ولتاژ مربوط با در نظر گرفتن خواص فیزیکی بذرهاي مختلف در پژوهش قبلی توسط این تیم تحقیقاتی مورد بررسی قرار گرفت (۱۶). رابطه کلی ۳ برای محاسبه جریان جرمی بذرهاي مختلف به‌صورت زیر معرفی شد.

$$Q = 442/0 \left(\frac{w}{d^2}\right) v \quad (3)$$

که در آن:

$Q$  = جرم بذر عبوری از حسگر بذر (گرم در ثانیه)

$v$  = مجموع ولتاژ دریافتی از حسگر بذر (ولت در ثانیه)

$w$  = وزن هزار دانه (گرم در هزار دانه)

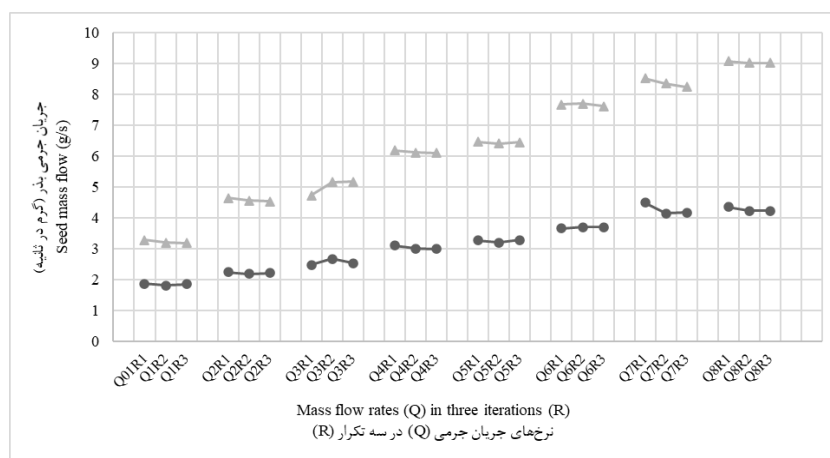
$d$  = قطر هندسی بذر (میلی‌متر)

با توجه به این که ساختار داده‌برداری در سامانه پایش توسعه داده شده نسبت به داده‌برداری انجام شده در سکوی شبیه‌ساز جریان بذر متفاوت است و در رابطه‌یابی بشارتی و همکاران (۱۶) از این سکو در آزمون‌های آزمایشگاهی استفاده شده بود، و اسنچی مجدد برای بررسی جریان جرمی تخمین زده شده توسط واحد کنترل و پردازش سامانه پایش با توجه به رابطه (۳) صورت گرفت. در سکوی شبیه‌ساز جریان بذر، یک حسگر جریان بذر نصب و داده‌برداری با اتصال آن به یکی از درگاه‌های ورودی سامانه پایش انجام گرفت. سامانه پایش به‌صورت گرم در ثانیه نرخ جریان جرمی را با توجه به رابطه (۳) محاسبه و در کارت حافظه ذخیره می‌کرد. در طول آزمایش، داده‌برداری در ۸‌نرخ و ۳ تکرار به مدت حدود ۵ دقیقه صورت گرفت.

شکل (۹)، نتایج تخمین جریان جرمی توسط سامانه پایش با توجه به رابطه (۳) در مقابل نرخ جریان جرمی حقیقی ثبت شده در ترازو را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود. فاصله نسبتاً ثابت و خطی بین تخمین جریان جرمی با رابطه (۳) و مقدار حقیقی ثبت‌شده در ترازو وجود دارد. شکل (۱۰) رابطه خطی و قوی با ضریب تبیین ۹۷/۵ درصد بین جریان جرمی تخمینی و جریان جرمی حقیقی را نشان می‌دهد. با برازش معادله خط می‌توان رابطه (۳) با ضریب

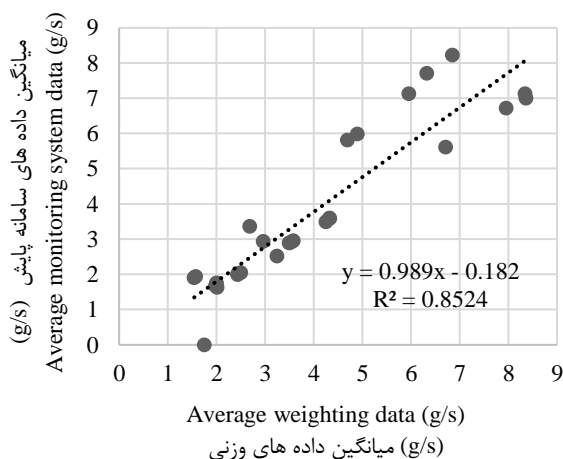
مساحت سطحی مشخص باید ریزش بذر در واحد ثانیه افزایش یابد که این موضوع همانطور که گفته شد بر عملکرد حسگر اثر منفی خواهد گذاشت. همچنین نتایج نشان می‌دهد که اثر متقابل سطوح سرعت و جریان جرمی بر توانایی تخمین حسگر جریان بذر در سطح احتمال ۱٪ اثری معنی‌دار دارد. معنی‌دار بودن این اثر متقابل، مربوط به اثر مشابه سطوح سرعت و جریان جرمی بر افزایش دبی ریزش اعمالی از سوی خطی کارها است.

و سطوح جریان جرمی بر عملکرد حسگر معنی‌دار است به‌طوری که با افزایش سرعت و جریان جرمی عملکرد حسگر به‌طور معنی‌داری تغییر خواهد کرد. با افزایش سطوح جریان جرمی عبور بذرها در یک خطوط مشخص نسبت به هم کمتر و جریان توده‌ای شکل متراکم‌تر خواهد شد و به این ترتیب بذرهای بیشتری از دسترس حسگر بذر خارج می‌شوند. تأثیر فاکتور سرعت را ناشی از افزایش گرم در ثانیه ریزش بذر در سرعت‌های بالاتر تشخیص دادند به‌طوری که با افزایش سرعت در مزرعه برای ثابت ماندن مقدار بذر در



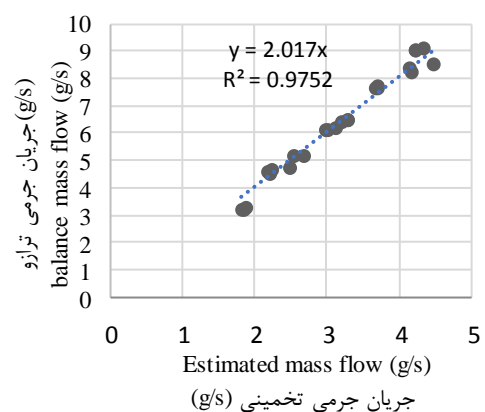
شکل (۹) نتایج تخمین جریان جرمی توسط سامانه پایش

Figure (9) Results of mass flow estimation by monitoring system



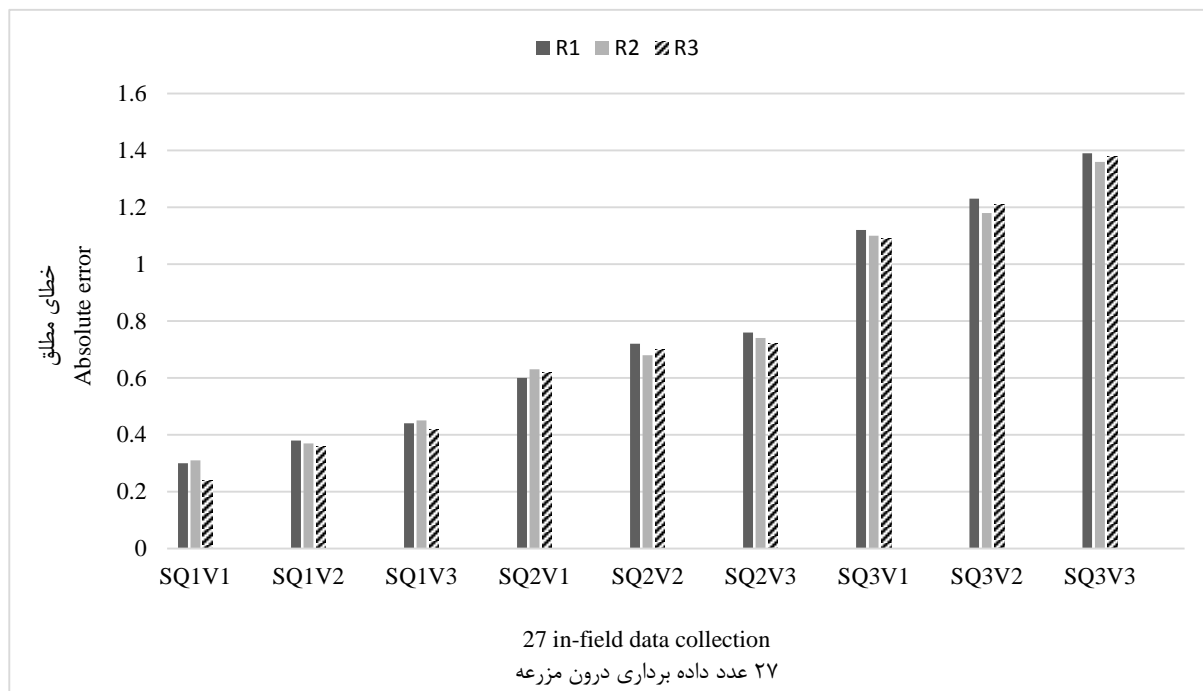
شکل (۱۱) پراکنش میانگین داده‌های وزنی به‌دست آمده از ترازو و داده‌های میانگین مربوط به تخمین جریان جرمی بذر توسط سامانه پایش

Figure (11) Distribution of average weight data obtained from the balance and average seed mass flow data estimated by the monitoring system



شکل (۱۰) رابطه بین جریان جرمی تخمینی و جریان جرمی ثبت شده توسط ترازو

Figure (10) Strong linear relationship between estimated mass flow and mass flow recorded by scales



شکل (۱۲) خطای مطلق بین داده‌های تخمین زده توسط سامانه پایش و داده‌های واقعی (سطوح سرعت (V) و جریان جرمی (Q))  
Figure (12) Absolute error between the data estimated by the monitoring system and the actual data (ground speed (V) and mass flow (Q) levels)

جدول (۶) جدول فاکتورها

Table (6) Factorials table

تعداد Number	مقدار Amount	متغیر Value
9	54 kg/ha	1 جریان جرمی
9	123 kg/ha	2 Mass flow
9	269 kg/ha	3
9	7 km/h	1 سرعت پیشروی
9	8 km/h	2 Forward speed
9	9 km/h	3

جدول (۷) جدول تجزیه واریانس اثر فاکتورهای مورد مطالعه بر عملکرد حسگر جریان بذر  
Table (7) Table of variance analysis studied the effect of factors on the performance of seed flow sensor

Sig.	F	میانگین مربعات Mean squares	درجه آزادی Degrees of freedom	مجموع مربعات sum of squares	منبع Source
0.000**	3974.624	1.722	2	3.455	جریان جرمی Mass flow
0.000**	174.521	0.076	2	0.151	سرعت پیشروی Forward speed
0.000**	12.842	0.006	4	0.022	جریان جرمی × سرعت پیشروی Mass flow × forward speed
		0.000	18	0.008	خطا Error
			28	19.191	کل Total

پایش عملکرد کارنده می تواند با دریافت بازخورد مناسب از حسگر سرعت پیشروی، به طوری که حسگر جریان تنها در هنگام حرکت تراکتور و عبور از آستانه از پیش تنظیم شده فعال گردد. در این حالت می توان با دریافت بازخورد مبنی بر توقف تراکتور برای از بین بردن اثرات محیطی حسگر جریان جرمی را به صورت خودکار صفر کرد. طراحی حسگری که به جای اندازه گیری دامنه تغییرات قابلیت دریافت فرکانس را داشته باشد می تواند مدنظر قرار گیرد. در این صورت با واسنجی تغییرات میزان فرکانس و تغییرات جریان جرمی عبوری از لوله سقوط می توان جریان جرمی را تخمین زد. به اضافه این که، احتمال تأثیر گردوخاک در سنجش جریان بذر کمتر خواهد شد. هوشمند سازی حسگر جریان بذر برای تشخیص گردوخاک و حذف اثر منفی آن، کاهش سیم کشی بین اجزا مختلف سامانه و توسعه رابط گرافیکی برای تبلت و گوشی تلفن همراه جهت نمایش اطلاعات کاشت از مواردی است که می توان در به روز رسانی و توسعه سامانه در آینده به آن توجه داشت.

### نتیجه گیری

نتایج متعددی در راستای ساخت و ارزیابی حسگر جریان بذر در طول پژوهش به دست آمده است. استفاده از عنصرهای نوری مادون قرمز، ساده ترین و مناسب ترین روش اندازه گیری نرخ جرمی در لوله سقوط خطی کارها است. افزایش سرعت پیشروی خطی کار و نرخ کاشت اثر منفی بر عملکرد حسگر جریان بذر توسعه داده شده دارد. به طوری که با افزایش سرعت پیشروی و نرخ کاشت جریان توده ای بذرهای متراکم تر و بذرهای بیشتری از دسترس حسگر جریان بذر خارج می شوند. گرفتگی عناصر نوری حسگر توسط گرد و غبار حاصل از ریزش بذرهای بیشترین تأثیر منفی را بر عملکرد سامانه پایش پیشنهادی داشت. حسگر مسافت سنج فراصوت با توانایی سنجش سطح مواد دانه ای انباشته شده در مخزن فلزی خطی کار، راه حلی مناسب و کم هزینه برای کنترل سطح کود و بذر به نظر می رسد.

پیشنهادهایی برای توسعه سامانه پایش کارنده ها در پژوهش های آینده وجود دارد. استفاده از عنصرهای نوری با زاویه پخشی کمتر برای به حداقل رساندن خطای مربوط به همپوشانی المان های نوری میسر خواهد. آغاز



## منابع

1. Al-Mallahi, A.A. and Kataoka, T. 2013. Estimation of mass flow of seeds using fibre sensor and multiple linear regression modelling. *Computers and Electronics in Agriculture*, 99: 116-122.
2. Al-Mallahi, A.A. and Kataoka, T. 2016. Application of fibre sensor in grain drill to estimate seed flow under field operational conditions. *Computers and Electronics in Agriculture*, 121: 412-419.
3. Amburn, R.D. 1980. Microwave seed sensor for field seed planter. U.S. Patent 4,239,010.
4. Bachman, W.J. 1988. Capacitive-type seed sensor for a planter monitor. U.S. Patent 4,782,282.
5. Besharati, B., Navid, H., Karimi, H., Behfar, H., and Eskandari, I. 2019. Development of an infrared seed-sensing system to estimate flow rates based on physical properties of seeds. *Computers and Electronics in Agriculture*, 162:874-881.
6. Ding, Y., Wang, X., Liao, Q., and Li, M. 2016. Design and experiment of performance testing system of multi-channel seed-metering device based on time intervals. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 32(7): 11-18.
7. Fathauer, G.H. 1975. Ultrasonic sensor. U.S. Patent 3,881,353.
8. Friend, K.D. 1987. Article or seed counter. U.S. Patent 4,635,215.
9. Fu, W., Meng, Z., Wu, G., Dong, J., Mei, H., and Zhao, C. 2012 Study on monitoring system of wheat sowing. *International Society of Precision Agricultur*, pp: 1-10.
10. Goldman, D.M., Hunter, J.L., and Meyer, T.P. Pioneer Hi Bred International Inc. 2013. Seed planter data acquisition and management system. U.S. Patent 8,473,168.
11. 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.
12. Lu, C., Fu, W., Zhao, C., Mei, H., Meng, Z., Dong, J., Gao, N., Wang, X., and Li, L. 2017. Design and experiment on real-time monitoring system of wheat seeding. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 33(2):32-40.
13. Quanwei, L., Xiantao, H., Li, Y., Dongxing, Z., Tao, C., Zhe, Q., Bingxin, Y., Mantao, W., and Tianliang, Z. 2017. Effect of travel speed on seed spacing uniformity of corn seed meter. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, 10(4): 98-106.
14. Raheman, H. and Kumar, R. 2015. An embedded system for detecting seed flow in the delivery tube of a seed drill. In *Proceeding of International Conference on Advances in Chemical, Biological and Environmental Engineering*, Singapore (pp. 236-241).

15. Srivastava, A.K., Goering, C.E., Rohrbach, R.P., and Buckmaster, D.R. 1993. Engineering principles of agricultural machines. American society of agricultural engineers St. Joseph, Mich.
16. Xia, L., Wang, X., Geng, D., and Zhang, Q. 2010. Performance monitoring system for precision planter based on MSP430-CT171. International Conference on Computer and Computing Technologies in Agriculture. Springer, Berlin, Heidelberg. pp: 158-165.