

طراحی، ساخت، و واسنجی ابزاری غیر تماسی برای تخمین تراکم محصول با استفاده از پرتو لیزر

علی فرمنش^{۱*}، محسن شمسی^۲ و سیدمحمدعلی محمدی^۳

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشگاه شهید باهنر کرمان

۲. دانشیار، دانشگاه شهید باهنر کرمان

۳. استادیار، دانشگاه شهید باهنر کرمان

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۱/۲۹ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۲/۲/۳۱)

چکیده

تراکم محصول و اندازه‌گیری آن یکی از فاکتورهای مهم در کشاورزی دقیق بوده و از مهم‌ترین عواملی است که بر عملکرد دستگاه‌های برداشت نظیر کمباین و دروگر تأثیر می‌گذارد. هدف این تحقیق طراحی، ساخت، و واسنجی ابزاری غیر تماسی برای تخمین تراکم گیاهانی نظیر گندم، جو، و یونجه است. در این مطالعه فرستنده‌های لیزر، گیرنده‌های LDR و میکروکنترلر AVR به‌عنوان واحد ثبت و پردازش داده‌ها، به‌کار گرفته شد. برای انجام آزمایش‌ها از ساقه‌های یونجه و جو که به‌صورت کاملاً تصادفی در سطحی یونولیتی قرار می‌گرفتند، استفاده شد. پرتو عبوری از میان محصول به‌وسیله گیرنده‌های LDR دریافت و با استفاده از مبدل آنالوگ به دیجیتال داده‌ها در حافظه میکروکنترلر ذخیره و بر روی نمایشگر نمایش داده شد. از مجموع ولتاژ خروجی گیرنده‌های LDR به‌منزله شاخصی برای تخمین تراکم استفاده شد. نتایج آزمایشگاهی نشان داد که بین تعداد ساقه‌های حد فاصل فرستنده‌ها و گیرنده‌ها و مجموع ولتاژ خروجی گیرنده‌ها رابطه خطی ($0.93 < R^2 < 0.98$) برای یونجه و ($R^2 \sim 0.9$) برای جو وجود دارد. همچنین مشاهده شد که نور محیط عامل تأثیرگذار بر میزان ولتاژ دریافتی حسگرها و عملکرد ابزار است که برای حذف این اثر، گیرنده‌ها در محافظ آلومینیومی قرار گرفتند. این روش پتانسیل تخمین تراکم محصول در حال حرکت برای استفاده در کشاورزی دقیق را دارد.

کلیدواژه‌ها

روش غیرمخرب، کشاورزی دقیق، ماشین‌های برداشت، میکروکنترلر.

مقدمه

یک تشخیص‌دهنده در ۸۰۰mm جلوتر از شانه برش به‌صورت شمارشگر برای بررسی تراکم ذرت استفاده و بیان شد که تعداد انقطاع‌های نور با تراکم محصول رابطه دارد، اما این رابطه به‌شدت غیرخطی است (Taylor et al, 1986) ابزارهای مکانیکی نیز برای تخمین تراکم استفاده شدند. یکی از ابزارها دارای یک پاندول افقی بود و رابطه‌ای میان انحراف پاندول و تراکم محصول ($R^2 = 0.89$) برای یک مساحت معین به‌دست آمد. پیش‌بینی مقدار محصول با این روش خوب گزارش شد (Hammen&Ehlert, 1991). اما با توجه به برخورد پاندول با محصول این روش مخرب

در سال‌های اخیر تحقیقات زیادی بر روی روش‌های تخمین تراکم محصولات کشاورزی به‌وسیله حسگرها انجام شده است. اصول اندازه‌گیری تراکم محصول با امواج آلتراسونیک سال‌ها قبل ابداع شد و برای کنترل سرعت پیشروی، تراکم محصولی که در جلوی ماشین قرار داشت با استفاده از آلتراسونیک تخمین زده شد (Homborg, 1980). پس از آن، در روشی دیگر از یک فرستنده لیزر و

*نویسنده مسئول Email: farmanesh_a@yahoo.com

تلفن: ۰۹۳۶۶۰۶۸۱۷۵

است. مادون قرمز در روشی مشابه کار Taylor et al (1986) به جای لیزر استفاده شد و رابطه غیرخطی مشاهده شد (Missotten, 1998). در تحقیقی دیگر مشابه کار Hammen&Ehlert (1991)، به جای پاندول از صفحه استفاده شد و رابطه خطی با ضریب $R^2 = 0.77 - 0.86$ میان سیگنال دریافتی و مقدار واقعی محصول در هلیس تغذیه گزارش شد (De Clipple, 2000). این روش هم مانند روش Hammen&Ehlert (1991) مخرب بود ولی در برابر تغییرات سرعت نتایج بهتری داشت. ابزار مکانیکی دیگری که شامل یک میله فلزی متصل به پتانسیومتر در جلوی هد برداشت بود، استفاده شد تا ساقه‌های ذرت در حال برداشت را بشمارد. نحوه عملکرد این ابزار به این گونه بود که با برخورد و عبور هر ساقه ذرت به میله مرتبط با پتانسیومتر یک پالس الکتریکی در واحد اطلاعات ثبت می شد که تعداد پالس‌ها بیانگر تعداد ساقه‌ها بود (Sudduth et al, 2000). Maertens et al (2003) مطرح کردند که برای اندازه‌گیری تراکم محصول نمی‌توان از آلتراسونیک‌ها استفاده کرد و در یک حالت اندازه‌گیری از میان سه ردیف محصول مشاهده کردند که با افزایش تراکم محصول، مقدار موج دریافت شده به صورت نمایی کاهش پیدا می‌کند. به دلیل متفرق شونده بودن تابش آلتراسونیک و مشکل اختلال صدای محیط، بسیاری از تحقیقات بر روی استفاده از تابش مرئی و مادون قرمز برای اندازه‌گیری تراکم محصول متمرکز شدند. از طرفی کارایی ابزارهای مکانیکی بسیار وابسته به نوع محصول، شرایط آن، و سرعت پیشروی است (Ehlert et al, 2009). همچنین روش‌های مکانیکی به دلیل تماس گیاه با ابزار مخرب محسوب می‌شوند لذا تحقیق در زمینه استفاده از ابزارهای مکانیکی به مرور زمان کنار گذاشته شد.

امکان استفاده از اسکنر لیزری فاصله‌یاب برای تخمین تراکم محصول در جلوی ماشین (کمباین) را تخمین حجم محصول پیشنهاد کردند که حجم میان زمین و نوک ساقه را محاسبه می‌کرد. در این تحقیق ضریب تبیین R^2 بین 0.8 تا 0.96 به دست آمد. در تحقیقی دیگر یک سیستم تخمین تراکم جرمی محصول در شرایط مزرعه‌ای بر اساس سه‌گوش‌سازی^۲ و فاصله زمانی رفت و برگشت پرتو لیزر طراحی و بیان شد که ارتفاع نقطه بازتاب پارامتری مناسب برای اندازه‌گیری تراکم جرمی است. ضریب تبیین برای روش سه‌گوش‌سازی در محدوده 0.87 تا 0.98 و برای روش فاصله‌یابی در محدوده 0.75 تا 0.99 بود (Ehlert et al, 2009). کوردیل و گرفت (Cordill & Grift, 2011) از چهار لیزر ارزان که به صورت عمودی و با فاصله 38mm از هم قرار گرفته بودند برای تشخیص ساقه‌های ذرت از برگ‌ها و سایر مواد دیگر استفاده کردند تا بتوانند اطراف گیاه را وجین کنند. ساقه‌ها جایی بودند که هر چهار پرتو لیزر قطع می‌شدند.

با توجه به این مسئله که ابزارهای استفاده شده در تحقیق‌های پیشین ابزارهایی بودند که بیشتر در امور راه و ساختمان و تحقیقات هوایی به کار گرفته شده‌اند و سپس محققان کشاورزی کاربرد آن‌ها را در کشاورزی و همچنین کمیابی و گرانی این ابزار در بازار ایران بررسی کردند. هدف این تحقیق طراحی، ساخت، و واسنجی ابزاری غیرمخرب، بومی، و ارزان قیمت برای تخمین تراکم علوفه و غلات است. این تحقیق سرآغاز راه کنترل خودکار ماشین‌های برداشت متناسب با شرایط مزرعه و منبعی برای استفاده از اطلاعات حاصل به منظور مدیریت مزرعه در سال زراعی بعد است.

■ مواد و روش‌ها

ابزار تخمین تراکم با مدل‌گیری از ابزار طراحی شده کوردیل و گرفت (2011) که شامل چهار لیزر عمودی برای تشخیص ساقه ذرت بود، طراحی شد (Cordill & Grift, 2011). به منظور افزایش دقت از پنج فرستنده

امکان استفاده از سنسورهای LIDAR^۱ در تخمین تراکم محصول ایستاده و همچنین روش‌های مختلف پردازش داده‌های مربوط به تراکم محصول در جلوی کمباین بررسی شد. این ابزار تخمین خوبی از تراکم محصول ($R^2 > 0.8$) در شرایط گوناگون از سرعت پیشروی و ارتعاشات ماشین و هنگامی که عمق نفوذ لیزر در اندازه‌گیری‌ها متفاوت است، ارائه می‌کند (Lenaerts et

است. میکروکنترلر در فرکانس ۴ مگاهرتز به گونه‌ای برنامه‌نویسی شد که در هر ثانیه ۱۵ بار (هر ۶۵ میلی‌ثانیه یکبار) اطلاعات گیرنده‌های LDR را دریافت و پس از میانگین‌گیری روی LCD نمایش می‌داد.

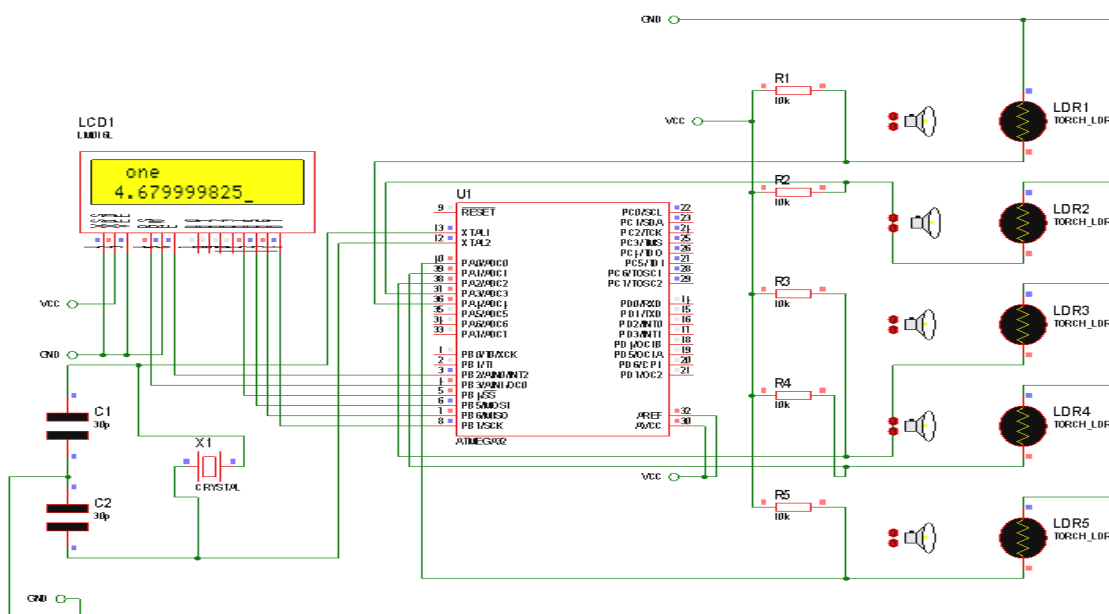
برای اجرای آزمایش‌ها، یونجه و ساقه‌های جو آمادهٔ درو از مزرعهٔ دانشگاه شهید باهنر کرمان تهیه شد. محصول پس از درو به آزمایشگاه انتقال داده شد. ساقه‌ها با در نظر گرفتن شرایط مزرعه به صورت کاملاً تصادفی در سطحی یونولیتی قرار گرفتند. برای بررسی تراکم مزارع یونجه از واحد تعداد ساقه در فوت مربع استفاده می‌شود که این میزان از ۱۰ تا ۷۰ ساقه در مزارع گوناگون، تغییر می‌کند (Undersander *et al*, 2011). به منظور رسیدن به دقت بیشتر و همچنین امکان روبه‌رو شدن با تراکم بیشتر در مزرعه از صفحات یونولیتی با ابعاد ۸۰×۱۵۰ میلی‌متر برای قرار دادن ساقه‌ها استفاده شد. صفحات با فواصل ۲/۵ میلی‌متری شبکه‌بندی شدند و ساقه‌ها با تراکم یکنواخت روی صفحه قرار گرفتند. صفحهٔ یونولیتی با ابعاد ۸۰×۱۵۰ میلی‌متر، واحد آزمایش نام گرفت. تعداد ساقه‌ها تا ۸۰ ساقه برای یونجه و ۸۶ ساقه برای جو افزایش یافت. صفحهٔ حامل ساقه‌ها (واحد آزمایش) بین فرستنده‌ها و گیرنده‌ها قرار گرفت و مجموع ولتاژ تمام گیرنده‌های LDR یادداشت شد. از مجموع ولتاژ گیرنده‌های LDR به عنوان شاخص برای تخمین تراکم استفاده شد.

لیزر با توان حداکثر ۱ میلی‌وات و طول موج ۶۵۰ نانومتر و همچنین پنج گیرندهٔ LDR با قطر ۲۰ میلی‌متر استفاده شد (حداکثر تعداد ممکن به کار گرفته شد). فرستنده‌های لیزر و گیرنده‌های LDR به‌طور جداگانه بر روی صفحات آلومینیومی سوراخ‌کاری شده با فاصلهٔ مرکز تا مرکز ۲۰ میلی‌متر از هم قرار گرفتند. ولتاژ مستقیم ۵ ولت برای راه‌اندازی مدارهای فرستنده‌ها و گیرنده‌ها به صورت جدا از هم استفاده شد. نمای کلی ابزار استفاده‌شده در شکل ۱ آورده شده است.



شکل ۱. نمای کلی ابزار تخمین تراکم و ترتیب قرارگیری آن

واحد ثبت، پردازش، و نمایش اطلاعات شامل یک میکروکنترلر AVR مدل ATMEGA32، LCD کارکتری مدل ۲×۱۶ و مدارهای مورد نیاز آن‌ها بود. طرح‌وارهٔ مدار به کار گرفته‌شده برای تخمین تراکم در شکل ۲ آمده



شکل ۲. طرح‌وارهٔ مدار شبیه‌سازی شده در نرم‌افزار Proteus

محیط روی گیرنده‌های LDR کاهش یابد. برای بررسی تأثیر نور محیط بر عملکرد ابزار «بدون محافظ آلومینیومی» و «به‌همراه محافظ آلومینیومی» از طرح آزمایش کامل تصادفی در تراکم ۳۰ ساقه در واحد آزمایش با ۱۰ تکرار استفاده شد و داده‌ها با روش آماری تحلیل واریانس (ANOVA) بررسی شدند. کلیه آزمایش‌ها مطابق برنامه نوشته‌شده در میکروکنترلر با فرکانس ۱۵ نمونه در ثانیه، در ۳ تکرار انجام شدند.

نتایج و بحث

مجموع ولتاژ گیرنده‌های LDR برای حالت بدون محصول ۳/۵ ولت و برای حالت با حداکثر تعداد محصول ممکن ۲۰/۷ ولت بود. هنگام استفاده از ابزار در حالتی که از محافظ آلومینیومی روی گیرنده‌ها به‌منظور کاهش اثر نور محیط استفاده نشده بود، مرز بالایی داده‌ها حدود ۲ ولت کاهش یافت و به ۱۸ ولت رسید اما در مرز پایینی داده‌ها تغییر محسوسی مشاهده نشد. در شکل ۳ نحوه توزیع داده‌های دریافتی از گیرنده‌ها نشان داده شده است. پلات ۲ مربوط به اطلاعات دریافتی از ابزار تخمین تراکم با محافظ آلومینیومی و پلات ۱ بدون آن است.

همان‌طور که در جدول ۱ آمده است، نتایج تحلیل واریانس برای بررسی تأثیر نور محیط بر عملکرد ابزار «بدون محافظ آلومینیومی» نشان داد که عامل نور محیط تأثیرگذار است.

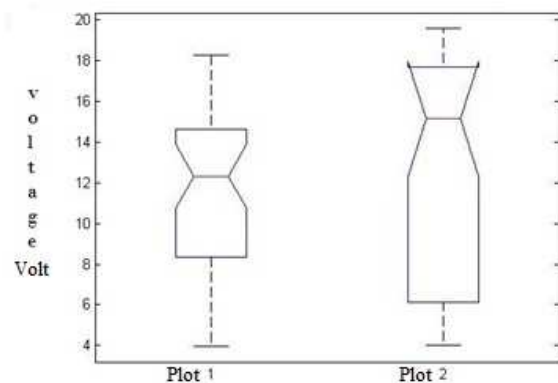
جدول ۱. بررسی تأثیر نور محیط بر روی عملکرد ابزار "بدون محافظ آلومینیومی"

منبع	df	SS	MS	F
خطا	۱۸	۰/۱۷۳۱	۰/۰۰۹۶۱۸	
شدت نور	۱	۴/۴۶۵	۴/۴۶۵	۴۶۴/۲۳*
کل	۱۹	۴/۶۳۸		

* معنی‌دار در سطح ۵ درصد

با افزودن محافظ آلومینیومی در جلو و صفحه‌ای L شکل در پشت گیرنده‌ها و کاهش تأثیر شدت نور محیط، عملکرد ابزار به‌صورت مطلوبی بهبود یافت. طبق

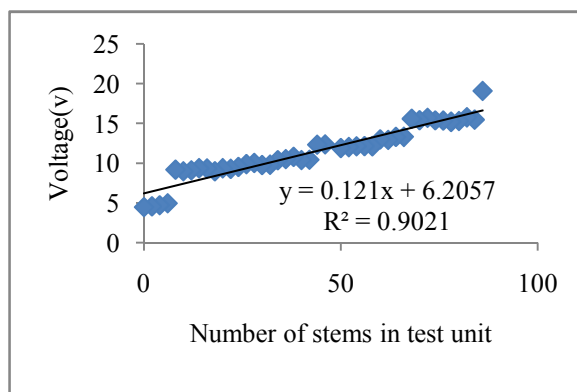
برای بررسی تأثیر فاصله روی عملکرد ابزار، صفحات فرستنده و گیرنده در سه فاصله ۴۰، ۷۰، و ۱۰۰ سانتی‌متری از هم قرار گرفتند. در فاصله ۴۰ سانتی‌متری در مرحله اول از یک واحد آزمایش میان صفحات فرستنده و گیرنده بدون ساقه استفاده شد و در مراحل بعدی ۲ ساقه به ساقه‌های پیشین تا ۸۰ ساقه افزوده شد. در فاصله ۷۰ سانتی‌متری برای ثابت‌ماندن تراکم در واحد سطح از دو واحد آزمایش (۸۰×۱۵۰ میلی‌متر) استفاده شد و در هر مرحله ۴ ساقه به ساقه‌های قبل تا مقدار بیشینه ۱۶۰ ساقه افزوده شد. در فاصله یک متری برای ثابت‌ماندن تراکم در واحد سطح از سه واحد آزمایش (۸۰×۱۵۰ میلی‌متر) استفاده شد و در هر مرحله ۶ ساقه به ساقه‌های قبل تا مقدار بیشینه ۲۴۰ ساقه افزوده شد. برای بررسی تأثیر نور محیط بر عملکرد ابزار دو شرایط نوری متفاوت (نور کم و زیاد) با استفاده از لامپ کم مصرف با توان ۷۰ وات با فاصله ۷۰ سانتی‌متری در بالای صفحه محصول ایجاد شد و همچنین از یک محافظ آلومینیومی با سطح مقطع ۱۲cm×2.5cm و ارتفاع 10cm در اطراف گیرنده‌های LDR و یک صفحه L شکل در پشت گیرنده‌های LDR به‌گونه‌ای استفاده شد که شدت نور



شکل ۳. توزیع داده‌های دریافتی از گیرنده‌های LDR

نامتقارن بودن داده‌ها نسبت به میانه در هر دو حالت وجود دارد که در حالت استفاده از محافظ آلومینیومی مشهود است و ناشی از این است که از تراکم ۴۰ ساقه در واحد آزمایش (تراکم بالایی است و در شرایط واقعی مزرعه نیز محصول به‌این تراکم نمی‌رسد) پرتو کمی به گیرنده‌ها می‌رسد.

طبق شکل ۵ با افزایش تعداد ساقه جو در واحد آزمایش، مقدار ولتاژ خروجی گیرنده‌ها به صورت خطی با ضریب تبیین $R^2 = 0.90$ و خطای استاندارد (ریشه میانگین مربعات خطاها) $RMSE = 1.053$ افزایش یافت.



شکل ۵. رابطه تعداد ساقه جو با مجموع ولتاژ دریافتی از گیرنده‌ها در فاصله ۴۰ سانتی‌متری

برای بررسی دقت ابزار در تخمین تراکم، در ۷ تراکم گوناگون برای ساقه گیاه جو، آزمایش‌ها انجام شد. نتایج این آزمایش‌ها در جدول ۳ آورده شده‌اند.

جدول ۳. بررسی دقت ابزار در تخمین تراکم ساقه گیاه جو

RMSE	تعداد ساقه در واحد آزمایش (۱۵۰ × ۸۰ mm)						
۱۲/۵۷	پیش‌بینی شده						
	۷۳	۷۷	۷۷	۴۸	۱۰	۱۴	۸
	واقعی						
	۷۵	۵۳	۴۱	۳۵	۲۱	۱۴	۷

طبق جدول ۳، ابزار در پیش‌بینی تعداد ساقه‌های موجود در واحد آزمایش با توجه به مجموع ولتاژ گیرنده‌ها، خطای استاندارد $RMSE = 12.57$ دارد.

نتایج تخمین تراکم در فاصله ۷۰ سانتی‌متری در شکل ۶ نمایش داده شده است. تا تراکم ۱۰۰ ساقه (شکل سمت راست) میزان ولتاژ به صورت خطی با ضریب تبیین بیشتر تراکم (شکل سمت چپ)، رابطه توانی با ضریب تبیین $R^2 = 0.88$ در رابطه با تعداد ساقه‌ها افزایش یافت، با افزایش $R^2 = 0.92$ انطباق خوبی با داده‌ها دارد.

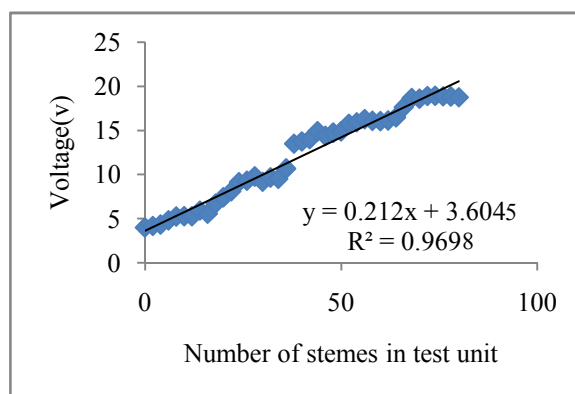
جدول ۲ نتایج تحلیل واریانس نشان داد که عامل نور محیط بر عملکرد ابزار «به همراه محافظ آلومینیومی» تأثیر گذار نیست.

جدول ۲. بررسی اثر افزودن محافظ آلومینیومی بر روی عملکرد ابزار در دو میزان نور متفاوت

منبع	df	SS	MS	F
خطا	۸۴	۸۱۲/۴۸۶۶	۹/۶۷۲	
شدت نور	۱	۲۲/۹۲۵۶	۲۲/۹۲۶	۲/۳۷ ^{ns}
کل	۸۵	۸۳۵/۴۱۲۲		

^{ns} غیر معنی‌دار

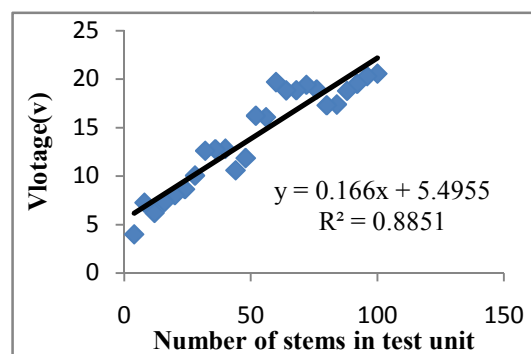
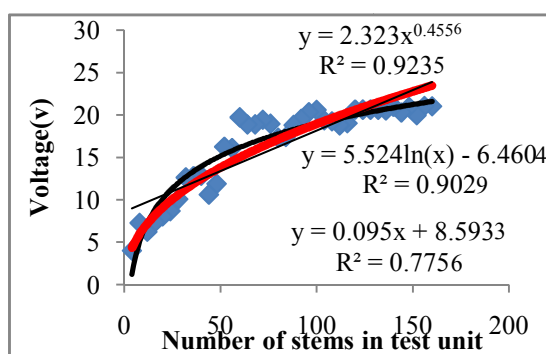
نتایج آزمون در فاصله ۴۰ سانتی‌متری بین فرستنده‌ها و گیرنده‌ها که در شکل ۴ آمده است، نشان داد با افزایش تعداد ساقه محصول یونجه در واحد آزمایش، مقدار ولتاژ دریافتی از گیرنده‌های LDR به صورت خطی با ضریب تبیین $0.98 < R^2 < 0.93$ و خطای استاندارد $RMSE = 0.16857$ افزایش پیدا می‌کند. با توجه به اینکه رابطه میان ولتاژ و تعداد ساقه‌ها خطی است، می‌توان در این فاصله تخمین درستی از تراکم محصول زد.



شکل ۴. رابطه مجموع ولتاژ گیرنده‌های LDR و تعداد ساقه یونجه در فاصله ۴۰ سانتی‌متری

مقدار ولتاژ در حافظه میکروکنترلر ذخیره و بر روی صفحه LCD نمایش داده می‌شود و می‌توان با استفاده از رابطه ۱ تعداد ساقه‌های یونجه را پیش‌بینی کرد.

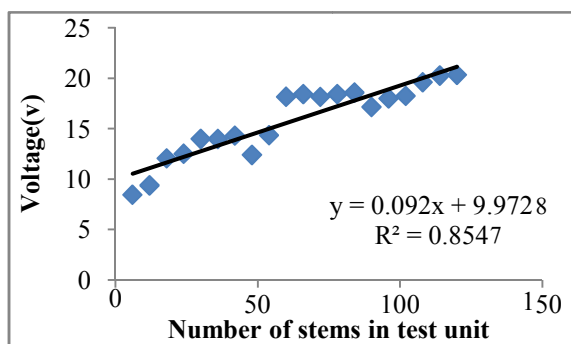
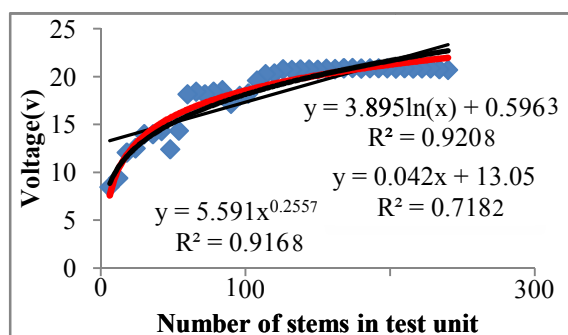
$$\text{Stems} = 4.72 \text{ Voltage} - 17 \quad (\text{رابطه ۱})$$



شکل ۶. رابطه تعداد ساقه جو با مجموع ولتاژ دریافتی از گیرنده‌ها در فاصله ۷۰ سانتی متری

تبیین ۰/۹۲ بیشترین تطابق با داده‌ها را دارد. با توجه به این که تعداد ساقه‌ها در مزارع از ۱۰ تا ۷۰ ساقه در فوت مربع است، نتایج بیانگر عملکرد مطلوب ابزار در فاصله ۱ متری است.

در فاصله ۱ متری همان‌طور که در شکل ۷ مشاهده می‌شود، رابطه میان تعداد ساقه‌ها و ولتاژ، تا تراکم ۱۲۰ ساقه در مساحتی به اندازه ۰/۳۸ فوت مربع خطی است (R² = ۰/۸۵)، اما با افزایش تراکم رابطه نمایی با ضریب



شکل ۷. رابطه تعداد ساقه جو با مجموع ولتاژ دریافتی از گیرنده‌ها در فاصله ۱ متری

ساقه‌های جو و یونجه نشان می‌دهد که برای هر نوع محصول به یکبار واسنجی احتیاج است و پس از برنامه‌ریزی ابزار می‌توان برای محصولات مختلف از آن استفاده کرد. در تحقیق حاضر ابزار به صورت ایستا بررسی شد و در زمینه اثر سرعت حرکت نمی‌توان نظر داد اما با توجه به غیرتماسی بودن ابزار و اختلاف زیاد سرعت نور و سرعت حرکت ماشین برداشت، تأثیر عامل سرعت پیشروی ناچیز پیش‌بینی می‌شود. تفاوت اساسی این تحقیق با تحقیق‌های پیشین در زمینه ابزارهای نوری در این است که در تحقیق حاضر از تلفیق فرستنده‌های لیزر و گیرنده‌های LDR برای محاسبه میزان پرتو عبور کرده از محصول استفاده شد در صورتی که در کارهای پیشین مانند تحقیق Taylor *et al* (1986) از لیزر و گیرنده‌های لیزر به صورت

می‌توان بیان کرد که، کارایی ابزارهای مکانیکی که محققانی چون Hammen (1991) و Clippel De (2000) و Sudduth (2000) آن‌ها را بررسی کردند، بسیار وابسته به نوع محصول، شرایط آن، و سرعت پیشروی است و همچنین روش‌های مکانیکی به دلیل تماس گیاه با ابزار مخرب محسوب می‌شوند، لذا تحقیق درباره استفاده از ابزارهای مکانیکی به مرور زمان کنار گذاشته شد و بیشتر تحقیقات دو دهه اخیر روی تخمین غیرمخرب تراکم محصولات گوناگون به‌ویژه با استفاده از حسگرهای لیزری بوده است. مقایسه ابزار ساخته شده با ابزارهای مکانیکی در تحقیق‌های پیشین نشان می‌دهد که این روش به دلیل آنکه با محصول در تماس نیست و توان اشعه لیزر پایین است، غیرمخرب محسوب می‌شود و از طرفی نتایج آزمایش روی

اهرم‌بندی مناسب و ثابت کردن صفحه حامل فرستنده‌ها و گیرنده‌ها نسبت به هم تأثیر عامل لرزش را نیز به حداقل رساند و با در نظر گرفتن این موضوع که سرعت نور بسیار بیشتر از سرعت حرکت است و برنامه‌ریزی ابزار به‌گونه‌ای است که در هر ثانیه ۱۵ بار اطلاعات گیرنده‌ها را دریافت می‌کند، می‌توان بیان کرد که این ابزار پتانسیل تخمین تراکم غلات و علوفه را در حین حرکت دارد و با توجه به اینکه در داخل کشور ابزار بومی برای تخمین تراکم موجود نیست، روشی مناسب و متناسب با دروگرها و کمباین‌های موجود در بازار ایران به شمار می‌آید.

■ نتیجه‌گیری کلی

نتایج آزمایش‌ها نشان می‌دهد که مجموع ولتاژ همه گیرنده‌ها و در واقع میزان پرتو لیزر عبوری از محصول، شاخص مناسبی برای تخمین تراکم محصولاتی نظیر گندم، جو، و یونجه است. نتایج واسنجی ابزار نشان داد هنگامی که محصولی وجود ندارد ولتاژ ۳/۵ ولت است و در بیشینه تراکم ممکن ولتاژ ۲۰/۷ ولت است. در شدت نورهای متفاوت ابزار به‌خوبی و با عملکرد مناسب کار می‌کند و در فاصله‌های ۴۰، ۷۰ و ۱۰۰ سانتی‌متری، رابطه خطی میان تراکم محصول و خروجی ابزار (ولتاژ) وجود دارد.

شمارشگر استفاده می‌شد که با توجه به تعداد دفعات قطع شدن نور، تخمینی از تراکم محصول ارائه می‌کردند. تعداد قطع شدن‌های نور با تراکم محصول رابطه دارد اما این رابطه به دلیل هم پوشانی ساقه‌های مختلف در تراکم‌های بالا به شدت غیر خطی است (Taylor et al, 1986; Missotten, 1998). همچنین تحقیق‌های پیشین (Saeys et al 2009) و همچنین Ehlert et al. (2009) از اسکنرهای لیزری بر اساس فاصله‌یابی استفاده کردند. این ابزارها در واقع وسایلی بودند که در صنعت هوایی و راه و ساختمان به کار گرفته می‌شدند و محققان کشاورزی امکان استفاده از آن‌ها در کشاورزی را بررسی کردند. یک نمونه از این ابزار وسیله‌ای است که پلیس راهنمایی و رانندگی کشور برای کنترل سرعت خودروها از آن استفاده می‌کند. ابزار طراحی شده در تحقیق پیش‌رو مکانیسم ساده‌تر و بالطبع ارزان‌تری دارد. مهم‌ترین عواملی که نتایج آزمایش‌های در حال حرکت را در مقایسه با آزمایش‌های ایستا برای این ابزار تحت تأثیر قرار می‌دهند؛ لرزش وسیله، سرعت، و اختلال (نویز) از طرف محیط است. عامل اختلال با توجه به اینکه حسگر نوری است، نور محیط است که با استفاده از محافظ‌های آلومینیومی برطرف شد. می‌توان با

REFERENCES

1. Cordill, C. & Grift, T. E. (2011). Design and testing of an intra-row mechanical weeding machine for corn. *Biosystem Engineering*, 110(3), 247-252.
2. De Clippele, J. (2000). *Development of a corn density sensor for grain crops*. Unpublished Master's thesis of the K. University of Leuven, Belgium.
3. Ehlert, D., Adamek, R. & Horn, H. J. (2009). Laser range-finder-based measuring of crop biomass under field conditions. *Precision Agriculture*, 10, 395-408.
4. Ehlert, D., Adamek, R. & Horn, H. J. (2009). Vehicle based laser range finding in crops. *Sensors*, 9, 3679-3694.
5. Ehlert, D., Hammen, V. & Adamek, R. (2003). On-line sensor pendulum-meter for determination of plant mass. *Precision Agriculture*, 4(2), 1573-1618.
6. Hammen, V. C. & Ehlert, D. (1991). Online ertrags measuring in klee gras mit dem pendulum meter. *Landtechnik*, 54, 156-163.
7. Homburg, H. (1980). Inventor. Method and apparatus for the measurement of plant density for the control of harvest machines. *U.S. Patent*, 4, 228, 636, 1-7.
8. Hummel, J. W., Lobdell, B. & Sudduth, K. (1996). Sensing corn population another variable in the yield equation. Cropping Systems and Water Quality Research Unit USDA-Agricultural Research Service Columbia MO.
9. Lenaerts, B., Craessaerts, G., De Baerdmaeker,

- G. & Wouter. (2008). Crop stand density prediction using LIDAR-sensors. International Conference on Agricultural Engineering. Hersonissos, Crete, Greece, 23-25 June, 2008.
10. Maertens, K., Reyns, P., De Clippel, J. & De Baerdemaeker, J. (2003). First experiments on ultrasonic crop density measurement. *Journal of Sound and Vibration*, 266, 655-665.
11. Missotten, B. (1998). Measuring systems for the mapping and the evaluation of crop production performance. Ph. D. dissertation, K. University of Leuven, Belgium.
12. Petersen, R. G. (1997). *Agricultural field experiments* (First ed.). (In Farsi)
13. Qing Liu., Cooper, S. E., Lijun Qi & Zetian Fu. (2006). Experimental Study of droplet transport time between nozzles and target. *Biosystem Engineering*. 95(2), 151-157
14. Saeys, W., Lenaerts, B., Craessaerts, G. & De Baerdemaeker, J. (2009). Estimation of the crop density of small grains using LiDAR sensors. *Biosystem Engineering*, 102, 22-30
15. Sudduth, K. A., S. J. Birrell, & M. J. Krumpelman. (2000). Field evaluation of a corn population. In Proc. 5th International Conference on Precision Agriculture. Bloomington, Minnesota, USA, 16-19 July, 2000.
16. Taylor, R. K., Stone, M. L. & Downs, H. W. (1986). Mapping yield potential with remote sensing. *ASAE* paper No. 86-1619.
17. Undersander, D., Grau, C., Cosgrove, D., Doll, J. & Martin, N. (2011). Alfalfa stand assessment: Is this stand good enough to keep?. Assessing crown and root health, (A3620)