

امکان سنجی یک سامانه نوری به منظور تخمین تراکم محصول گندم

محمد آیینه زاده کاوری^۱، محمد حسین آق خانی^{۲*}، محمدحسین عباسپور فرد^۳

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی ماشین‌های کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

۲. دانشیار، گروه مهندسی ماشین‌های کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

۳. استاد، گروه مهندسی ماشین‌های کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۳/۲۵ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۴/۳/۱۱)

چکیده

با توجه به روند رو به رشد جمعیت جهان، تأمین غذای بشر به یک مسئله مهم در سطح جهان تبدیل گردیده است. بنابراین نیاز به استفاده از فناوری‌های جدید به منظور بهینه کردن تولید محصولات کشاورزی وجود دارد. به‌منظور افزایش عملکرد مزرعه‌ای ماشین‌های برداشت، ورود یک حجم ثابت از توده محصول به سیستم تغذیه ضروری است. در این پژوهش امکان سنجی تخمین تراکم گندم رقم روشن با استفاده از روش غیرمخرب تولید ولتاژ حاصل از نور رسیده به سلول‌های فتوولتائی مورد بررسی قرار گرفت. برای اعمال تیمارها و انجام آزمایش‌های ایستا، سامانه‌ای طراحی و ساخته شد. آزمایش‌ها به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار انجام شد. تیمارها شامل تعداد ساقه در متر مربع (۳۰۰، ۳۵۰ و ۴۰۰)، فاصله بین صفحات مترآک‌کننده سنبله‌های گندم (۱۲، ۲۱ و ۳۰ سانتی‌متر)، لامپ‌های LED (۲۱/۲ Lux و ۲۷۴ Lux) و زمان انجام آزمایش‌های (بعدازظهر و شب) بود. نتایج نشان داد اثر فاصله بین صفحات، شدت نور لامپ، تعداد ساقه در متر مربع و زمان اندازه‌گیری بر روی ولتاژ در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار است. تمام اثرات متقابل به جز (فاصله بین صفحات×تعداد ساقه در متر مربع) و (فاصله بین صفحات×شدت نور لامپ×تعداد ساقه در متر مربع) روی ولتاژ اندازه‌گیری شده تأثیر معناداری در سطح احتمال ۱٪ داشتند. بنابراین با توجه به نتایج اخذ شده امکان تخمین تراکم گندم با استفاده از سامانه وجود دارد.

واژه‌های کلیدی: تخمین محصول، کشاورزی دقیق، سلول‌های خورشیدی، گندم رقم روشن، ماشین‌های برداشت.

مقدمه

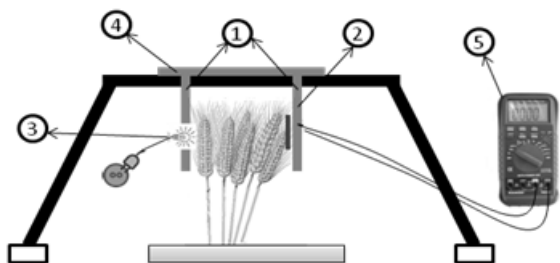
می‌گردد. این روش بسیار خسته کننده است و با دقت پایینی انجام می‌شود. در سال‌های اخیر تحقیقات زیادی به منظور تخمین تراکم محصولات کشاورزی به وسیله حسگرهای مختلف انجام شده است. روش‌های به کار رفته شامل روش‌های مکانیکی و نوری می‌باشند. به‌عنوان نمونه دستگاه اندازه‌گیری تراکم محصول با استفاده از امواج اولتراسونیک^۱ ابداع شد که برای استفاده از کود ازته در مزرعه به کار برده شد. نتایج نشان داد تغییر رطوبت محصول باعث بروز خطا می‌شود و دقت کار را به شدت کاهش می‌دهد (Maertens et al., 2003). در زمینه تخمین تراکم از ابزارهای مکانیکی نیز استفاده شده است. یکی از ابزارهای مکانیکی مورد استفاده یک پاندول افقی می‌باشد که با ضریب تبیین ۰/۸۹ میان زاویه انحراف پاندول^۲ و تراکم محصول پیش بینی مناسبی از مقدار محصول گزارش شده است. در این روش برای اندازه‌گیری زاویه انحراف از یک پتانسیومتر

رشد جمعیت و افزایش مصرف سرانه غذا، دو مسئله مهم در تأمین نیازهای غذایی برای افراد جوامع در حال پیشرفت از جمله ایران است. در این میان نقش بهره‌گیری مؤثر و بهینه از ماشین‌ها و ادوات کشاورزی به خصوص ماشین‌های برداشت اهمیت ویژه‌ای دارد. یکی از مباحث مهم در کشاورزی مدرن افزایش دقت برداشت محصولات است. یکی از فاکتورهای مهم در عملیات برداشت دقیقه انتخاب سرعت پیشروی مناسب با توجه به تراکم محصول است که در این حالت با ورود یک جریان ثابت به درون سیستم تغذیه، عملکرد مزرعه‌ای ماشین‌های برداشت افزایش می‌یابد. از آنجا که تراکم محصول در همه جای مزرعه یکنواخت نیست، در صورت عدم استفاده از سامانه پایش، مقدار تراکم محصول توسط راننده و به طور چشمی تخمین زده شده و سرعت پیشروی متناسب با آن تنظیم

^۱- Ultrasonic

^۲- Pendulum

متراکم‌کننده نصب شده بود به توده محصول تابانده شد. دقیقا در طرف مقابل، بر روی صفحه دیگر یک فتوسل به‌عنوان گیرنده برای دریافت نور ساطع شده از لامپ نصب شد، بدین ترتیب محصول مابین پنل و لامپ قرار گرفت (شکل ۱).



شکل ۱. صفحات متراکم‌کننده سنبله‌های گندم (۲) پنل فتوولتائی (۳) لامپ LED (۴) سرپوش (۵) مولتی‌متر

با توجه به تعداد ساقه در واحد سطح و درهم‌رفتنی سنبله‌های محصول، میزان نور عبوری از میان زیست توده متغیر است. به این دلیل ولتاژ تولیدی توسط فتوسل با توجه به تراکم محصول تغییر می‌یابد. در این آزمایشات از یک پنل نوری ۱۸ ولت، ۱۰۰ میلی‌آمپر به ابعاد ۱۴×۱۷ سانتی‌متر استفاده شد. با توجه به رابطه (۱) حداکثر توان تولیدی فتوسل^۴ برابر با ۱/۸ وات است.

$$P = VI \quad (\text{رابطه ۱})$$

در رابطه (۱) P توان تولیدی بر حسب وات، V حداکثر ولتاژ تولیدی توسط فتوسل بر حسب ولت و I جریان بر حسب آمپر است. لامپ‌های مورد استفاده دارای دو سطح شدت تابش ۲۷۴ Lux و ۲۱/۲ Lux (شکل ۲) بود. در هر یک از لامپ‌ها برای حساسیت بیشتر نسبت به تغییرات نور از یک لنز متمرکزکننده استفاده شد. برای خنک کردن لامپ در زمان استفاده طولانی مدت از آن، از هیت‌سینک^۵ سرمایی آلومینا استفاده شد تا عمل انتقال حرارت با محیط را انجام دهد.

برای ساخت قاب سامانه آزمایشگاهی از لوله ۰/۵ اینچ استفاده شد. قاب متشکل از دو لوله است که به موازات یکدیگر و بر روی پایه‌هایی (قوطی آهنی ۸۰×۴۰ میلی‌متر) قرار گرفته‌اند. در آزمایشات تخمین تراکم، ابزارهای مورد نیاز برای انجام آزمایش‌ها بر روی صفحاتی که سنبله‌های گندم را متراکم می‌کنند قرار گرفتند. این صفحات با توجه به اندازه دستگاه به ابعاد ۳۴×۳۰ سانتی‌متر برش داده شدند. صفحات از جنس ورق آهن با ضخامت ۰/۶ میلی‌متر انتخاب شدند. رنگ ورق تیره بوده و

استفاده شد (Ehlert et al., 2003). یکی دیگر از ابزارهای مکانیکی مورد استفاده یک میله فلزی متصل به پتانسیومتر^۱ است که در جلوی هد برداشت نصب می‌گردد و ساقه‌های ذرت را در حین برداشت شمارش می‌کند (Sudduth, 2000). در مطالعه ای امکان استفاده از اسکنر لیزری برای تخمین تراکم محصول در جلوی کمباین نیز بررسی گردید و یک روش جدید برای تعیین حجم محصول پیشنهاد شد که حجم میان زمین و نوک ساقه را محاسبه می‌کرد. در این روش ضریب تبیین R^2 بین ۰/۸ تا ۰/۹ به دست آمد (Saeyns, 2009). در زمینه استفاده از روش نوری یک سیستم تخمین تراکم محصول در شرایط مزرعه‌ای با استفاده از لیزر مثلث‌ساز^۲ و لیزر زمان-پرواز^۳ طراحی شد و بیان شد که ارتفاع نقطه بازتاب یک پارامتر مناسب برای اندازه‌گیری تراکم است. ضریب تبیین برای لیزر مثلث‌ساز در محدوده ۰/۸۷ تا ۰/۹۸ و برای لیزر زمان-پرواز بین ۰/۷۵ تا ۰/۹۹ بود. در لیزر مثلث‌ساز زاویه تمایل سطح، دقت در اندازه‌گیری را کاهش نداد، ولی هر چه میزان تابش آفتاب بیشتر باشد در هر دو لیزر به دلیل انعکاس نور از سطح گیاه، خطای اندازه‌گیری افزایش می‌یابد (Ehlert et al., 2009). بررسی روش‌های مورد استفاده نشان داده است روش‌های مکانیکی ساختار ساده‌تری نسبت به روش‌های لیزری دارند، اما تخمین تراکم توسط روش‌های لیزری به‌صورت غیرتماسی بوده و می‌تواند تراکم محصول را با دقت بالاتری تخمین بزند. استفاده از روش‌های لیزری علاوه بر هزینه بسیار بالا، نیاز به برنامه‌نویسی دقیقی در نرم‌افزارهایی مانند متلب و DASyLab دارد. با توجه به ضرورت بحث تعیین تراکم محصول در مزارع برای افزایش راندمان ماشین‌های برداشت، پس از بررسی مشکلات و معایب روش‌های موجود از جمله هزینه‌ی بالای دستگاه‌ها، پیچیدگی زیاد ساختار، تنظیم سخت آن برای اپراتور و حساسیت روش لیزری نسبت به زاویه‌ی انحراف سطح گیاه از روش جدید غیرمخرب نوری برای اندازه‌گیری تراکم محصول استفاده شد.

مواد و روش‌ها

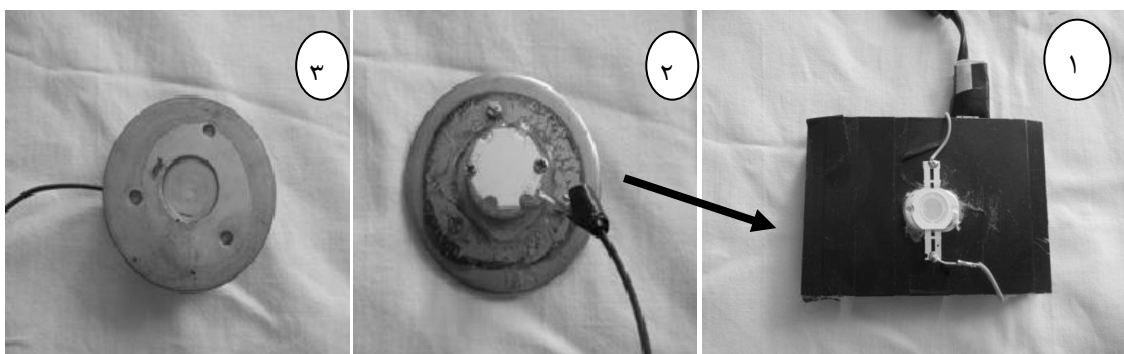
در روش نوری مورد استفاده در این تحقیق، نوری از میان محصول تابانده می‌شود. نور عبوری از توده محصول توسط فتوسل‌هایی دریافت شده و ولتاژی را تولید می‌کند که این ولتاژ تولید شده به تراکم محصول نسبت داده می‌شود. در تحقیق حاضر نور توسط یک لامپ LED که بر روی یکی از صفحات

4. Photocell
5. Heatsink

1. Potentiometer
2. Triangulation
3. Time-of-flight

حرکت افقی داشته تا بتوانند برای انجام تیمارها در روش نوری سنبله‌های گندم را متراکم کنند (شکل ۳).

انعکاس نور را کاهش می‌دهد، به همین دلیل دقت کار افزایش یافت. صفحات باید این قابلیت را می‌داشتند که بر روی قاب‌ها



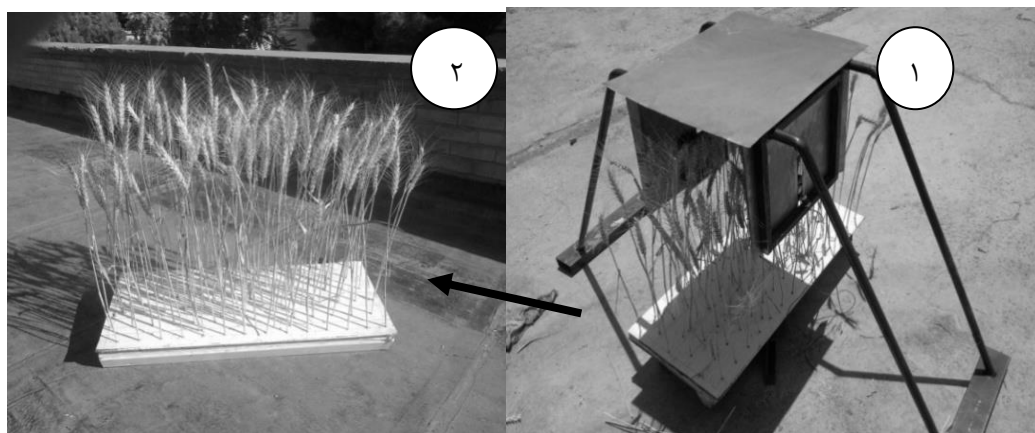
شکل ۱. (۱) نمای جلویی لامپ LED ۲۷۴Lux، (۲) نمای پشتی لامپ LED ۲۷۴Lux، (۳) نمای جلویی لامپ LED ۲۱/۲Lux

انجام آزمایشات در نظر گرفته شد. برای کم کردن تأثیر نور محیط و متعاقباً افزایش تأثیر نور لامپ در آزمایش‌ها یک پوشش از ورق آهنی بر روی قاب قرار داده شد (شکل ۴-۲). در آزمایشات ساقه‌ها به‌گونه‌ای بر روی سینی قرار گرفتند تا تراکم یکنواخت و تمایل تمامی آن‌ها به یک سو باشد. ارتفاع ساقه‌ها نیز به‌طوری انتخاب گردید تا سنبله‌های گندم دقیقاً در مقابل لامپ و سلول‌های فتوولتائی قرار بگیرند. بیشترین تعداد ساقه، ۴۰۰ عدد در یک متر مربع در نظر گرفته شد، بنابراین با در نظر گرفتن این نکته، تعداد ساقه‌ها در یک سطح ۴۵×۳۴ سانتی‌متر مربعی، ۶۱ عدد خواهد بود. برای اعمال تیمارهایی که در آن صفحات از یکدیگر فاصله کمتری دارند، بعد از هر تیمار و برای تکرار بعدی، ابتدا صفحات از یکدیگر دور شده و سنبله‌هایی که ممکن است در اثر نزدیک کردن صفحات در یکدیگر فرو رفته باشند از هم جدا می‌شدند.



شکل ۳. نحوه حرکت افقی صفحات متراکم‌کننده بر روی قاب دستگاه

برای انجام آزمایشات از گندم رقم روشن استفاده شد. برای قرار دادن گندم‌ها درون سامانه آزمایشگاهی، یک سینی (شکل ۴-۱) تهیه گردید تا بتوان گندم‌ها را درون آن قرار داد و علاوه بر آن تعداد ساقه‌های گندم را در تیمارهای مختلف تغییر داد. به دلیل اینکه فاصله‌ی بین دو لوله‌ی موازی قاب ۳۴ سانتی‌متر است، با در نظر گرفتن ابعاد دستگاه یک سطح ۳۴×۴۵ سانتی‌متر مربعی بر روی سینی برای قرار دادن گندم و



شکل ۴- (۱) سینی گندم (۲) پوشش آهنی روی دستگاه

آماري و مقایسه میانگین داده‌ها از نرم‌افزار Statistic نسخه ۸ استفاده شد و نمودارهای مربوطه توسط نرم‌افزار Excel ۲۰۰۷ رسم گردید. کلیه آزمایشات در ۳ تکرار جهت کاهش خطای آزمایشی و افزایش دقت، انجام شد. جهت مقایسه میانگین داده از آزمون LSD در سطح آماری ۱٪ استفاده گردید. آزمایشات در تیر ماه، زمان برداشت گندم در منطقه سبزوار انجام شد.

نتایج و بحث

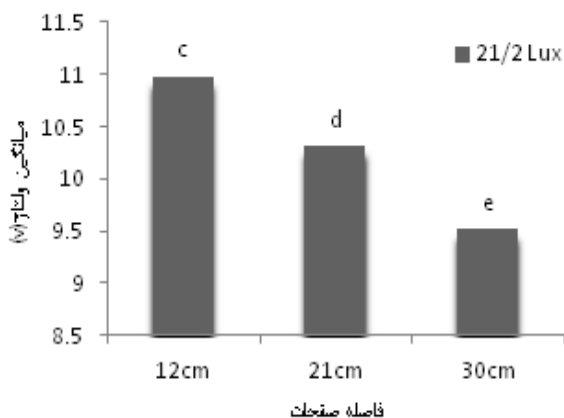
نتایج مربوط به تجزیه واریانس و آنالیز آماری داده‌ها (جدول ۱) حاکی از آن بود که اثر فاصله بین صفحات، شدت نور لامپ، تعداد ساقه در متر مربع و زمان برداشت محصول بر روی ولتاژ در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار است. اثر متقابل فاصله بین صفحات و تعداد ساقه در متر مربع بر روی ولتاژ اندازه‌گیری شده معنی‌دار نشده است.

فاصله صفحات در سطوح دیگر به ترتیب ۳۰٪ و ۶۰٪ کاهش یافت (۲۱ و ۱۲ سانتی‌متر). برای رسیدن به تراکم‌های ۳۵۰ و ۳۰۰ ساقه در واحد سطح، در هر مرحله ۷ عدد از ساقه-ها از سطح مورد نظر بر روی سینی حذف شد. به منظور امکان سنجی تخمین تراکم محصول در مزرعه بر اساس میزان ولتاژ دریافتی از سلول‌های فتوولتایی، از طرح کاملاً تصادفی در قالب آزمون فاکتوریل استفاده شد. متغیرهای مستقل مورد استفاده شامل تعداد ساقه در متر مربع (۳۰۰، ۳۵۰ و ۴۰۰) (Armin et al., 2007)، فاصله صفحات متراکم‌کننده سنبله‌های گندم (۱۲، ۲۱ و ۳۰ سانتی‌متر)، شدت نور لامپ (LED ۲۷۴Lux و LED ۲۱/۲Lux) و زمان انجام آزمایشات (بعدازظهر و شب) بود. از آنجا که بهترین زمان برداشت گندم با کمترین از نظر کاهش تلفات برداشت، بعد از ظهر است (به دلیل رطوبت مناسب دانه) این دو زمان برای انجام آزمایش‌ها انتخاب شد. جهت آنالیز

جدول ۱- جدول تجزیه واریانس ولتاژ دریافتی با کمک روش نوری تحت شرایط تیمارهای مورد آزمون

F	میانگین مربعات MS	مجموع مربعات SS	درجه آزادی df	منبع تغییرات
۲۹۰/۶۵**	۵/۵۴۶۵	۱۱/۰۹۳	۲	فاصله بین صفحات (A)
۴۰۸۶/۲۴**	۷۷/۹۷۹	۷۷/۹۷۹	۱	شدت نور لامپ (B)
۹/۰۲**	۰/۱۷۲۲	۰/۳۴۴	۲	تعداد ساقه در متر مربع (C)
۴۵۹۲/۶**	۸۷/۶۴۲۱	۸۷/۶۴۲	۱	زمان انجام آزمایشات (D)
۲۱۸/۴۴**	۴/۱۶۸۵	۸/۳۳۷	۲	A×B
۲/۰۱ n.s	۰/۰۳۸۴	۰/۱۵۴	۴	A×C
۳۷۹/۸۵**	۷/۲۴۸۴	۱۴/۴۹۷	۲	A×D
۷/۳۸**	۰/۱۴۰۹	۰/۲۸۲	۲	B×C
۲۲۲**	۴/۲۳۶۴	۴/۲۳۶	۱	B×D
۸۶/۴۳**	۱/۶۴۹۳	۳/۲۹۹	۲	C×D

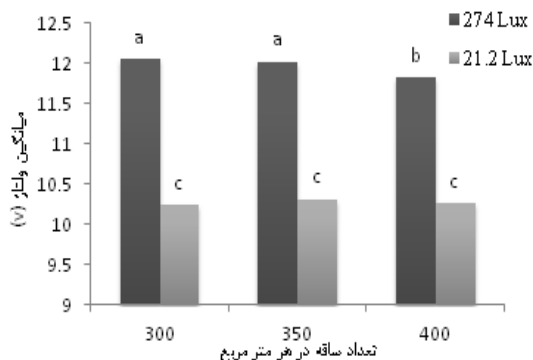
** معنی‌دار در سطح یک درصد، n.s معنی‌دار نیست



شکل ۵. تاثیر فاصله بین صفحات و شدت نور لامپ ۲۱/۲Lux بر ولتاژ اندازه‌گیری شده

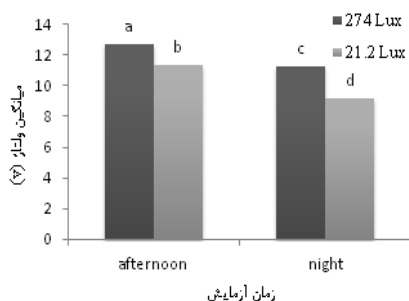
نتایج شکل ۵ و ۶ نشان می‌دهند اثر متقابل فاصله بین صفحات و شدت نور بر روی ولتاژ در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار می‌باشد. نتایج نشان داد که بین مقادیر میانگین ولتاژ به دست آمده توسط دو لامپ در یک فاصله ثابت از صفحات تفاوت معنی‌دار در سطح یک درصد وجود دارد. همان‌طور که انتظار می‌رفت لامپ با شدت تابش بیشتر ولتاژ بیشتری تولید کرده است. هنگامی که شدت تابش نور بیشتر باشد، تعداد فوتون‌های بیشتری جذب می‌شوند و با افزایش انرژی حاصل از فوتون‌ها، الکترون‌های بیشتری از میدان پروتون خلاص شده و آزادانه در نیمه‌رسانا حرکت می‌کنند، بنابراین ولتاژ بیشتری به دست می‌آید.

شدت ۲۷۴Lux و ۲۱/۲Lux در بعد از ظهر، در هر یک از تیمارهای با تعداد ساقه ثابت، با افزایش فاصله بین صفحات، میانگین ولتاژ افزایش می‌یابد و دلیل آن کاهش درهم رفتگی سنبله‌های گندم است. چون با افزایش درهم رفتگی و تراکم سنبله‌ها، نور به سختی می‌تواند از میان آنها عبور کرده و در نتیجه میزان نور رسیده به سلول‌های نوری کاهش می‌یابد که این امر منجر به تولید ولتاژ کمتری می‌شود. و اما در تمام موارد و برای هر کدام از تیمارهای با تعداد ساقه ثابت هنگام استفاده در شب با کاهش فاصله بین صفحات ولتاژ افزایش می‌یابد، و به این معناست که نتایج به دست آمده دقیقاً عکس آزمایشات در بعدازظهر است.



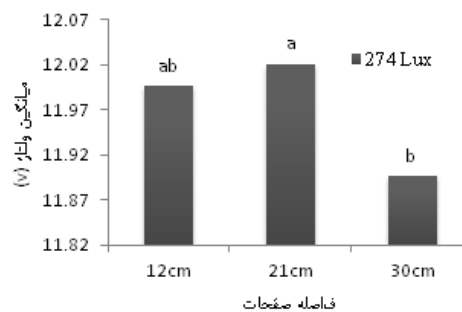
شکل ۸. تأثیر تعداد ساقه در متر مربع و شدت نور لامپ بر ولتاژ اندازه‌گیری شده

نتایج بیانگر این بود که در هر دو حالت استفاده از لامپ ۲۷۴Lux و ۲۱/۲Lux، میانگین ولتاژ دریافتی در شب کمتر است (شکل ۹)، بنابراین بیشترین میانگین ولتاژ توسط لامپ ۲۷۴Lux در بعدازظهر به دست آمد. هنگامی که شدت نور تابیده به سلول افزایش می‌یابد، جریانی متناسب با شدت نور ورودی به وسیله سلول‌های فتوولتائی تولید می‌شود.



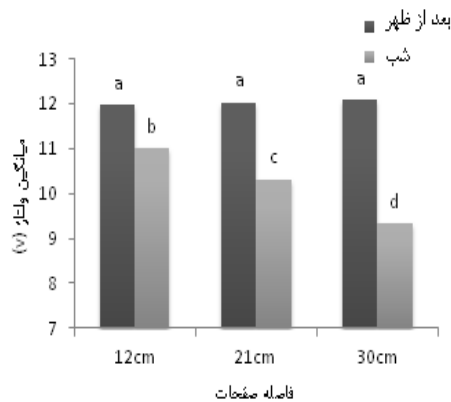
شکل ۹. تأثیر زمان انجام آزمایش و شدت نور لامپ بر ولتاژ اندازه‌گیری شده

نتایج مقایسه میانگین بیانگر این بود که اثر متقابل تعداد ساقه و زمان انجام آزمایش در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار می‌باشد (شکل ۱۰). در هر یک از تیمارهای با تعداد ساقه ثابت،



شکل ۶. تأثیر فاصله بین صفحات و شدت نور لامپ ۲۷۴Lux بر ولتاژ اندازه‌گیری شده

مقایسه میانگین‌ها در شکل ۷ نشان می‌دهد میانگین‌های ولتاژ به دست آمده در بعد از ظهر، در سطوح مختلف از فاصله بین دو صفحه با یکدیگر معنی‌دار نیستند. ولی این مطلب در هنگام شب در سطح ۱٪ معنی‌دار می‌باشد. با کاهش فاصله، میانگین ولتاژ دریافتی در شب افزایش یافت، بدین دلیل که لامپ تنها منبع نوری است و به سلول‌های فتوولتائی نزدیک می‌شود. با نزدیک شدن منبع نور به سلول‌های فتو ولتائی، شدت تابش بیشتر می‌شود. همچنین مقادیر به دست آمده در زمان بعدازظهر به دلیل تأثیر نور محیط بیشتر از زمان شب است.



شکل ۷. تأثیر فاصله بین صفحات و زمان انجام آزمایشات بر ولتاژ اندازه‌گیری شده

همان‌طور که پیش‌بینی می‌شد نتایج (شکل ۸) نشان داد در هر یک از تیمارهای با تعداد ساقه ثابت میانگین ولتاژ به دست آمده توسط لامپ با شدت تابش ۲۷۴Lux بیشتر از لامپ ۲۱/۲Lux است. همچنین در هر یک از تیمارهای تعداد ساقه بین ولتاژهای به دست آمده توسط لامپ ۲۷۴Lux و ۲۱/۲Lux تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال ۱٪ وجود دارد. لامپ ۲۷۴Lux در تراکم ۳۰۰ ساقه در متر مربع بیشترین امتیاز را کسب کرد، چون در این حالت نور راحت‌تر می‌تواند از میان سنبله‌های گندم عبور کرده و به سلول‌های فتوولتائی برسد. نتایج حاکی از آن است که در زمان استفاده از لامپ‌های با

امکان پذیر است. البته برای تشخیص کمینه و بیشینه تراکم قابل اندازه گیری و تعیین بیشینه دقت (کمینه اختلاف در تراکم) آزمایشات تکمیلی باید انجام شود. از مهم ترین مزایای این سامانه ساختار ساده و هزینه آن نسبت به روش های بررسی شده دیگر در بررسی منابع، بخصوص روش های لیزری می باشد. در روش نوری برخلاف روش های صوتی^۱ (اکوستیکی) که حداقل تغییر در ۴ شاخص را داریم، تنها با تغییر در یک شاخص مواجه هستیم و آن نیز افزایش و کاهش ولتاژ دریافتی از سلول های فتوولتائیک است.

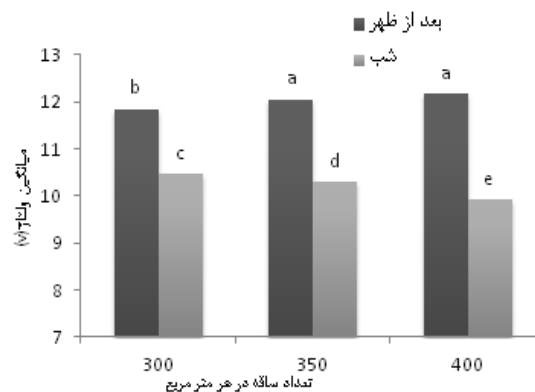
اگر چه تغییرات رطوبت محصول در آزمایشات بررسی نشد لیکن با توجه به ماهیت اندازه گیری این سامانه می توان پیش بینی کرد که نتایج آن به رطوبت و درجه حرارت محیط و محتوای رطوبتی محصول وابستگی نداشته باشد. به عبارت دیگر تخمین تراکم به کمک این روش هم قبل از زمان برداشت که رطوبت محصول بالاست و هم در زمان برداشت محصول امکان پذیر است. با اتصال این دستگاه به جلو یا کنار سکوی برداشت کمباین غلات از آن برای تهیه نقشه تراکم محصول در مزرعه و تنظیمات بهینه کمباین مانند سرعت پیشروی، ارتفاع برداشت و سایر تنظیمات داخلی کمباین استفاده کرد.

1. Acoustic

REFERENCES

- Armin, M., Noormohammadi, Gh., Zand, E., Baghestani, M. A. & Darvish, F. (2007). Competition effect of wild oat on two wheat genotypes contrasting in their competitive ability. *Journal Iranian of Agricultural research*, 5, 9-18. (In Farsi)
- Ehlert, D., Hammen, V. & Adamek, R. (2003). On-line sensor pendulum-meter for determination of plant mass. *Precision agriculture*, 4, 139-148.
- Ehlert, D., R. Adamek, and H. J. Horn. (2009). Laser rangefinder-based measuring of crop biomass under field conditions. *Precision Agric.*, 10, 395-408.
- Maertens, k., Reyns, P., De-clippel, J. & D. Baerdemaeker. (2003). First experiments on ultrasonic crop density measurement. *Journal of Sound and Vibration*, 266, 655-665.
- Saeyns, W., lenaerts, B., craessaerts, G. & D. Baerdemaeker. (2009). Estimation of the crop density of small grains using LiDAR sensors. *Biosystem Engineering*, 102, 22-30.
- Sudduth, K. A., Birrell, S. J. & Krumpelman, M. J. (2000). Field evaluation of a corn population sensor. In: *Proceedings of 5th International Conference on Precision Agriculture*. ASA, CSSA, and SSSA.

میانگین ولتاژ به دست آمده در شب کمتر از زمان بعدازظهر شد و با یکدیگر تفاوت معنی داری دارند. همچنین در هر یک از تیمارهای با تعداد ساقه ثابت، بین ولتاژهای به دست آمده در بعد از ظهر و شب اختلاف معنادار در سطح احتمال ۱٪ وجود دارد.



شکل ۱۰. تأثیر تعداد ساقه در متر مربع و زمان انجام آزمایشات بر ولتاژ اندازه گیری شده

نتیجه گیری

بر اساس نتایج جدول ۱ و نتایج مقایسه میانگین ها با استفاده از روش نوری امکان تخمین تراکم گندم وجود دارد. بر اساس نتایج این تحقیق در هنگام برداشت در شب به دلیل عدم تاثیر نور محیط بر روی ولتاژ تولید شده بهترین نتیجه گیری