

اندازه‌گیری برخط سطح بذر و کود مخزن خطی کارها با استفاده از روش مادون قرمز

فرزاد محمدی^۱، محمد رضا ملکی^{۲*}، سلمان رنجبری^۳ و جلال خدائی^۴

چکیده

اندازه‌گیری برخط سطح بذر و کودهای شیمیایی دانه‌های داخل مخازن خطی کارها و کودکارها در فرآیند خودکار کردن ماشین‌ها و ادوات کشاورزی دارای اهمیت است. در مطالعه حاضر یک فاصله‌سنج که بر اساس نور مادون قرمز و به روش غیرتماسی اندازه‌گیری سطح را انجام می‌دهد، طراحی شده و مورد ارزیابی کارگاهی و مزرعه‌ای قرار گرفت. حسگر فاصله‌سنج مادون قرمز ابتدا روی سه سطح چوب، آهن و خاک در کارگاه مورد آزمایش قرار گرفته و واسنجی شد. پس از نصب حسگر پشت درب مخزن بذر و کود یک خطی کار ارزیابی مزرعه‌ای سامانه در دو حالت استاتیکی و دینامیکی برای تعیین سطح گندم و کود شیمیایی دانه‌های صورت گرفت. نتایج ارزیابی کارگاهی نشان داد که رابطه حسگر در تشخیص فاصله از سه سطح چوب، آهن و خاک دارای تغییرات غیرخطی با ضریب تبیین بیش از ۰/۹۹ است. نتایج ارزیابی مزرعه‌ای حسگر برای بذر گندم نشان داد که یک رابطه غیرخطی بین داده‌های حسگر و اندازه واقعی با ضریب تبیین به ترتیب ۰/۹۹۶ و ۰/۹۹۲ برای آزمایش استاتیکی و دینامیکی وجود دارد. نتایج ارزیابی مزرعه‌ای حسگر برای کود تریپل سوپر فسفات نشان داد که باز هم یک رابطه غیرخطی بین داده‌های حسگر و اندازه واقعی با ضریب تبیین به ترتیب ۰/۹۹۵ و ۰/۹۹۲ برای آزمایش استاتیکی و دینامیکی وجود دارد. در مرحله اعتبارسنجی سامانه، رابطه بین فاصله سطح محاسبه شده گندم و اندازه واقعی با یک رابطه خطی با ضریب تبیین به ترتیب ۰/۹۸۳ و ۰/۹۶۱ برای آزمایش استاتیکی و دینامیکی به دست آمد. در مرحله اعتبارسنجی سامانه، رابطه بین فاصله سطح محاسبه شده کود و اندازه واقعی با یک رابطه خطی با ضریب تبیین به ترتیب ۰/۹۹۵ و ۰/۹۶۱ برای آزمایش استاتیکی و دینامیکی به دست آمد. بنابراین سامانه فاصله‌سنج مادون قرمز در شرایط مزرعه برای سنجش ارتفاع سطح مواد دانه‌ای داخل مخزن بسیار دقیق بوده و می‌تواند برای خودکار کردن این ادوات به کار گرفته شود.

واژه‌های کلیدی: ابزار دقیق، ارزیابی استاتیکی، ارزیابی دینامیکی، فاصله‌سنج، لب ویو.

ارجاع: محمدی ف. ملکی م. ر. رنجبری س. و خدائی ج. ۱۳۹۹. اندازه‌گیری برخط سطح بذر و کود مخزن خطی کارها با استفاده از روش مادون قرمز. نشریه پژوهش‌های مکانیک ماشین‌های کشاورزی. ۹(۲): ۹۵-۱۰۵.

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه کردستان.

۲- استادیار گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه کردستان.

۳- دانشجوی کارشناسی ارشد گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه کردستان.

۴- استادیار گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه کردستان.

* نویسنده مسئول: mrmaleki@uok.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۱/۰۶ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۱/۲۲

مقدمه

استفاده از روش فراصوتی به صورت برخط اندازه‌گیری شد (Mohammadi *et al.*, 2018). سامانه اندازه‌گیری در دو حالت استاتیکی و دینامیکی برای تعیین سطح گندم و کود شیمیایی دانه‌ای در محدوده ۵۰ تا ۴۵۰ میلی‌متر با گام‌های ۱۰ میلی‌متر مورد ارزیابی قرار گرفت. در هر دو حالت ضریب تبیین بیش از ۰/۹۷ به دست آمد. در یک مطالعه دیگر (Karimi *et al.*, 2019) بر اساس حسگر مادون قرمز، یک سامانه پایش جریان مواد دانه‌ای برای خطی کارها طراحی و ساخته شد. در این سامانه، حسگرهای بذر مادون قرمز به صورت جداگانه بر روی هر لوله سقوط نصب شدند تا میزان دانه بذر و همچنین وجود یا عدم وجود دانه بذر بر روی یک نمایانگر گرافیکی نمایش داده شود. در سامانه پیشنهادی، همچنین از حسگرهای فراصوتی برای اندازه‌گیری و نمایش مداوم میزان بذر و کود در مخزن کود و بذر استفاده شده است. نتایج مطالعات نشان داد که دقت و حساسیت سامانه کنترل سطح مخزن خطی کار در شرایط مزرعه قابل قبول بوده و به عنوان روشی جهت اندازه‌گیری سطح مواد کشاورزی می‌تواند به کار گرفته شود. سامانه‌های اندازه‌گیری راداری به صورت گسترده در صنعت کاربردی و عملیاتی شده‌اند و در اندازه‌گیری سطح مایعات و جامدات مورد استفاده قرار گرفتند (Vogt, 2014; Kielb & Pulkrabek, 1999). در یک پژوهش دیگر از یک ترانسمیتر راداری جهت اندازه‌گیری مخازن کودهای شیمیایی و همچنین با ارتفاع بالا استفاده شد. نتایج حاصل در این شرایط حاکی از دقت بسیار بالا و حداقل خطای اندازه‌گیری بود (Ghoodsi & Ghoodsi, 2017). در هر صورت استفاده از این روش‌ها مستلزم هزینه بالا بوده و برای مخازن کوچک شبیه مخزن خطی کارها توجیه کافی نداشته و علاوه بر این، به دلیل برخورد و بازتاب امواج به دیواره‌های مخزن در اثر تکان‌های ماشین‌ها و ادوات کشاورزی مناسب نخواهد بود.

استفاده از اصول خازن‌های الکتریکی جهت اندازه‌گیری سطح مواد از دیگر روش‌های اندازه‌گیری غیرتماسی است. به عنوان مثال در تحقیقی از خازن برای اندازه‌گیری سطح سیال‌های گازی استفاده شد (Sawada *et al.*, 2003). شایان ذکر است که استفاده از خاصیت خازن‌ها و تغییر ظرفیت به واسطه تراکم ماده موجود بین صفحات آن‌ها، در اندازه‌گیری سطح دانه در سیلوهای غلات دارای سابقه

مبحث اندازه‌گیری از جمله مباحثی است که همواره در صنعت کشاورزی مورد توجه بوده است. کمیت‌ها و پارامترهای مختلفی از جمله شدت جریان مواد، رطوبت، سرعت حرکت مواد و نیز سطح مواد در ادوات و ماشین‌های کشاورزی مورد اندازه‌گیری و کنترل قرار می‌گیرند. اطلاع از سطح بذر و کود درون مخزن بذرکارها و کودکارها می‌تواند تأخیر ناخواسته در فرآیند کاشت را کاهش داده و نیز نقش مهمی در اطلاع از توقف احتمالی بعضی از موزع‌های دستگاه‌های کارنده ایفا می‌نماید. به علاوه پایش و تشخیص سطح دانه‌های برداشت‌شده درون مخزن کمباین‌ها به راننده این امکان را می‌دهد تا از پرشدن احتمالی و سرریز مخزن مطلع باشد. برای اندازه‌گیری ارتفاع سطح داخل مخازن دو روش تماسی و غیرتماسی وجود دارد. در روش تماسی ابزار اندازه‌گیری به طور مستقیم با سطح ماده در تماس است (Boumans, 1985). صرف نظر از سادگی مکانیزم، یکی از اشکالات این روش تغییر کردن سطح ماده بر اثر تماس دستگاه اندازه‌گیر و نیز اریب شدن سطح ماده به علت زاویه گرفتن ماشین است که کاهش دقت اندازه‌گیری را به دنبال دارد (Mirzaee *et al.*, 2009). علاوه بر این تغییرات سطوح مواد به علت نوسانات ناشی از حرکت در مزرعه، موجب کاهش چشمگیری در دقت اندازه‌گیری خواهد شد. بنابراین در روش‌های تماسی، محدودیت دقت اندازه‌گیری وجود دارد، که این عامل باعث شده است تا فقط در محاسبه پارامترهای ساده سطحی قابل استفاده باشد (Jester & Klik, 2005). در روش‌های غیرتماسی وسایل اندازه‌گیری با هدف سنجش ارتفاع، از سطح ماده فاصله داشته و با سطح تماس فیزیکی ندارند (Mirzaee *et al.*, 2009; Jester & Klik, 2005). اساس این روش‌ها مبتنی بر اندازه‌گیری امواج منعکس‌شده از سطح بنا شده است. روش‌های اندازه‌گیری طبق این اصل را می‌توان بر اساس نوع حسگر استفاده شده و ابعاد اندازه‌گیری دسته‌بندی کرد (Nayerifard & Amiri Parian, 2015). به طور کلی روش غیرتماسی خود شامل روش‌های مختلفی مانند فراصوتی (Robichau & Molnua, 1990)، مادون قرمز (Römken *et al.*, 1986)، خازنی، لیزری (Huang *et al.*, 2007; Taconet & Ciarletti, 1988) و ترانسمیتر راداری است. در یک پژوهش سطح بذر مخزن خطی کارها با

به‌وسیله بخش فرستنده دستگاه فرستاده می‌شود به‌وسیله یک بازتابنده که مجموعه‌ای از یک یا چند منشور چندوجهی است، دریافت‌شده و سپس به سمت واحد فرستنده برمی‌گردد. واحد کنترل دستگاه پس از دریافت امواج برگشتی، با استفاده از اختلاف فاز موجود، فاصله بین دو نقطه را محاسبه می‌کند (Yu Wu et al., 2009; Römkens et al., 1986).

علاوه بر سایر استفاده‌های رایج که از تشخیص سطح یک ماده در عملیات کشاورزی به عمل می‌آید، با توجه به گرانی روزافزون نهاده‌ها نیاز به معرفی روش‌های جدید با کارایی بیشتر و با حداقل هزینه در تشخیص سطوح بذر و یا کود درون مخزن خطی کارها و کودکارها بیش از گذشته ضروری به نظر می‌رسد. روش‌های غیرتماسی تشخیص سطوح مواد شاید جایگزین مناسبی برای روش‌های رایج تماسی باشد که دقت اندازه‌گیری با کمترین خطای ممکن افزایش می‌یابد. هدف از انجام این پژوهش طراحی، نصب و ارزیابی سامانه‌ی سطح‌سنج مادون‌قرمز بر روی مخزن بذر و کود خطی کارها به منظور اندازه‌گیری برخط ارتفاع سطح مواد داخل مخزن است.

مواد و روش‌ها

در این پژوهش از یک واحد خطی کار-کودکار ۲۱ ردیفه از نوع سوار با ارتفاع مخزن بذر و کود به ترتیب ۴۵۰ و ۲۵۰ میلی‌متر ساخت شرکت ماشین کشت آبی‌در استان کردستان و تراکتور MF285-4WD جهت پیاده سازی سامانه اندازه‌گیری برخط سطح مواد درون مخزن بذر و کود استفاده شد. سامانه از دو بخش اصلی شامل واحد اندازه‌گیری و واحد داده‌برداری و پردازش تشکیل شده است.

واحد اندازه‌گیری

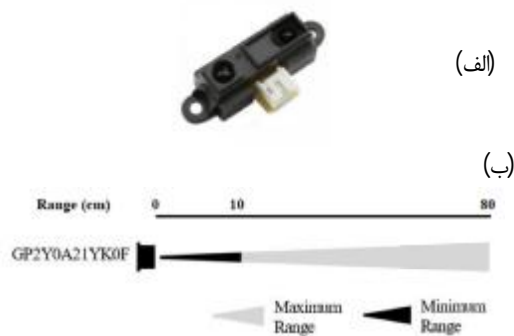
جهت تشخیص برخط سطح بذر و کود مخزن خطی کار-کودکار از یک حسگر مادون‌قرمز مدل GP2Y0A21YK0F ساخت شرکت Sharp ژاپن استفاده شد (شکل ۱- الف). این حسگر در حقیقت یک ماژول فاصله‌سنج IR است که از نور مادون‌قرمز برای فاصله‌یابی استفاده می‌کند. ساختار این حسگر ترکیبی از یک آشکارساز حساس به فاصله، یک دیود نوری مادون‌قرمز و مدار پردازش سیگنال است. به‌دلیل استفاده از روش Triangulation تنوع بازتاب‌پذیری اشیا، دمای محیط و مدت زمان عملکرد در دقت نهایی

طولانی است (Boumans, 1985). با توجه به این که این حسگرها دارای ظرفیت خازنی هستند و دی‌الکتริก به‌کار رفته در آن‌ها به دما، رطوبت، چگالی حجمی و اندازه ذرات حساس است و باعث بروز تغییرات در آن می‌شود، این روش پایش سطح می‌تواند دچار خطا شده و گاهی در تشخیص سطح ماده اشکالاتی پدید آورد (Ghoodsi & Hajipor, 2016). در پژوهشی با مطالعه بر روی روش‌های غیرتماسی اندازه‌گیری فاصله از سطح زمین، دو حسگر فراصوتی و نوری برای تشخیص فاصله از سطح زمین تحت شرایط مختلف رطوبت، نوع خاک، دمای محیط، شدت نور خورشید، پیکربندی سطح زمین، فاصله حسگر از سطح زمین و سرعت حرکت حسگر مورد آزمایش قرار گرفتند. نتایج نشان داد که حسگر فراصوتی نسبت به شدت نور و نوع خاک و دما و رطوبت محیط حساس نیست (Lee et al., 1996). بنابراین نتیجه‌گیری شد که از این حسگرها برای محیط‌های باز و دارای گرد و غبار می‌توان استفاده کرد.

در مطالعه‌ای دیگر (Jester & Klik, 2005) از دو روش تماسی و غیرتماسی برای اندازه‌گیری فاصله از سطح خاک به منظور انجام تنظیمات لازم برای ادوات شخم استفاده کردند و ضمن جمع‌آوری داده‌ها، مقایسه‌های لازم جهت تشخیص وضوح، دقت و توانایی ارائه ویژگی‌های سطح خاک در هر دو روش انجام گرفت. نتایج نشان داد که روش‌های تماسی دارای دقت محدودی هستند و وضوح و دقت بیشتر با روش غیرتماسی حاصل می‌شود.

همان‌طور که در قبل اشاره شد، استفاده از امواج مادون‌قرمز در اندازه‌گیری سطح از دیگر روش‌های غیرتماسی است. امواج مادون‌قرمز یا بطور اختصار IR^۱ امواج الکترومغناطیس با طول موج بیشتر از ناحیه دید انسان هستند که در نتیجه قابل رؤیت نیستند. طیف مادون‌قرمز که در گستره طول موج‌های ۷۰۰ نانومتر تا ۱ میلی‌متر قرار دارد را به سه ناحیه مادون‌قرمز نزدیک^۲، مادون‌قرمز میانه^۳ و مادون‌قرمز دور^۴ می‌توان تقسیم کرد. حسگرهای مادون‌قرمز دارای کاربردهای بسیار وسیعی هستند. در فاصله‌یاب‌های مادون‌قرمز امواج نوری که

1- Infrared
2- Near-IR
3- Middle-IR
4- Far-IR



شکل ۱- (الف) حسگر مادون قرمز GP2Y0A21YK0F و (ب) محدوده اندازه‌گیری حسگر

حسگر تاثیر چندانی ندارد. خروجی حسگر از نوع آنالوگ بوده و ولتاژی متناسب با فاصله اندازه‌گیری شده ایجاد می‌کند. که به وسیله یک مبدل آنالوگ به دیجیتال میکرو می‌کند. به عنوان (Analog to Digital Converter) می‌توان از آن استفاده کرد. شکل ۱- ب محدوده اندازه‌گیری حسگر را نشان می‌دهد. سایر مشخصات حسگر در جدول ۱ آمده است.

جدول ۱- مشخصات حسگر مادون قرمز GP2Y0A21YK0F

مشخصات	محدوده	مشخصات	محدوده
ولتاژ مورد نیاز (ولت)	۴/۵-۵/۵	وزن (گرم)	۳/۵
جریان (میلی آمپر)	۳۳-۵۰	طول (میلی متر)	۳۷
محدوده اندازه‌گیری (سانتی متر)	۱۰-۸۰	عرض (میلی متر)	۱۸/۹
زمان پاسخ‌گویی (میلی ثانیه)	۳۹	ارتفاع (میلی متر)	۱۳/۵
زمان لازم برای اندازه‌گیری (میلی ثانیه)	۴۴	نوع خروجی	آنالوگ
قطر منطقه تشخیص در ۸۰ سانتی متر (سانتی متر)	۱۲	دمای کاری (درجه سانتی گراد)	-۱۰-۶۰

می‌کند. در این تحقیق از یک کارت انتقال داده USB-4704 ساخت شرکت National Instrument که می‌تواند اطلاعات آنالوگ یا دیجیتال را از حسگرها یا دستگاه‌های دیگر دریافت نماید استفاده شد (شکل ۲). مشخصات کارت در جدول ۲ نشان داده شده است.



شکل ۲- کارت انتقال داده USB-4704

واحد داده‌برداری و پردازش

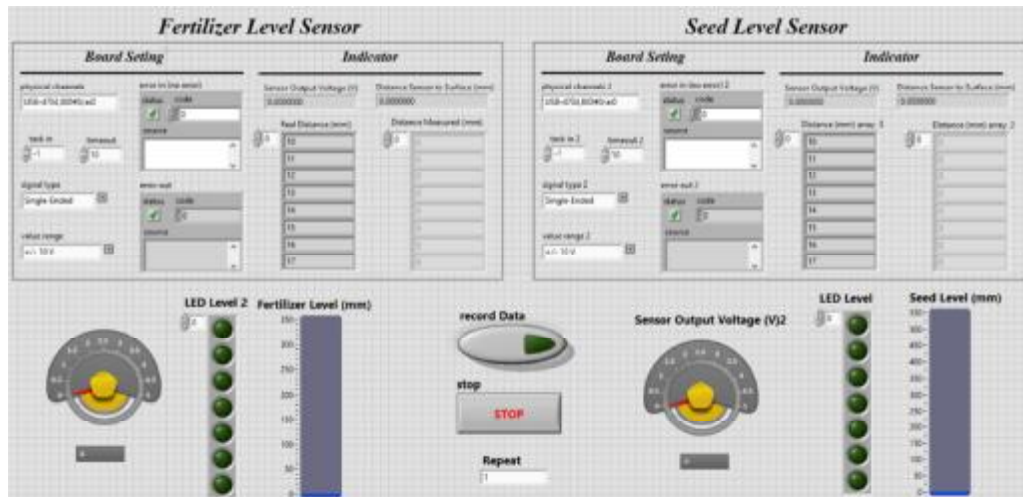
این بخش وظیفه دریافت سیگنال‌های حسگر مادون قرمز، پردازش داده‌های وارد شده و در نهایت محاسبه ارتفاع سطح بذر و یا کود مخزن را بر عهده دارد. واحد داده‌برداری شامل سه قسمت اصلی سامانه دریافت داده، پردازشگر مرکزی و نرم‌افزار راه‌انداز است. از سامانه‌های دریافت داده به منظور جمع‌آوری اطلاعات خروجی حسگرها و ثبت آن در حافظه استفاده می‌شود. سامانه دریافت داده اطلاعات را جهت پردازش داده‌ها، محاسبه و نمایش ارتفاع سطح بذر و کود مخزن برای پردازشگر مرکزی، که یک رایانه قابل حمل است، ارسال

جدول ۲- مشخصات کارت USB-4704

شمارنده	خروجی آنالوگ	ورودی دیجیتال	مشخصات کلی
۱ کانال	۲ کانال خروجی آنالوگ	۸ کانال	پشتیبانی از USB 2.0
۳۲ بیتی	رزولوشن ۱۲ بیت	رزولوشن ۱۴ بیت	پرتابل و تامین تغذیه از کابل
ماکزیمم فرکانس ورودی ۵ مگاهرتز	رنج ولتاژ خروجی ۰-۵ ولت	حافظه FIFO برابر ۵۱۲ بیت	۸ ورودی دیجیتال TTL
-	امپدانس خروجی ۶۵ اهم	سرعت نمونه برداری ۴۸ کیلو نمونه در ثانیه	۸ خروجی دیجیتال TTL
-	-	ماکزیمم ولتاژ ورودی ۳۰ ولت	-
-	-	امپدانس ورودی ۱۲۷ اهم	-

۲۰۱۵، ساخت شرکت National Instrument استفاده شد (شکل ۳). شکل ۴ شماتیک سامانه برخط اندازه‌گیری سطح مخزن بذر و کود خطی کار-کودکار را نشان می‌دهد.

برای دریافت داده‌های ارسالی حسگرهای مادون قرمز، محاسبه ارتفاع سطح بذر و کود مخزن و در نهایت ذخیره و نمایش اطلاعات، از نرم‌افزار گرافیکی LabVIEW نسخه



شکل ۳- محیط گرافیکی برنامه نرم‌افزار لب ویو



شکل ۴- شماتیک سامانه سطح‌سنج مادون قرمز

فاصله ایجاد می‌کند. این نقطه از ماده می‌تواند دارای ناخالصی نظیر تکه‌های چوب، فلز و یا خاک باشد. بنابراین برای اینکه نشان داده شود که حسگر مادون قرمز برای تمامی مواد جامد و یا برای مواد دانه‌ای با احتمال وجود ناخالصی در آن قابلیت تشخیص دارد، لازم بود که مجموعه‌ای از واسنجی در گستره وسیعی از مواد دیگر نیز انجام شود تا قابلیت حسگر مورد تأیید قرار بگیرد. از این رو به منظور واسنجی سامانه‌ی سطح‌سنج مادون قرمز، ابتدا یک دستگاه کارگاهی ثابت طراحی و ساخته شد، این دستگاه از شاسی مدرج به طول ۱۵۰ سانتی‌متر و با دقت ۱ میلی‌متر، میله‌های هادی و گیره نگه‌دارنده متحرک (جایگاه حسگر) تشکیل شده و بر روی دیوار کارگاه نصب

آماده‌سازی نمونه‌ها

اندازه‌گیری سطح برای دو نوع ماده دانه‌ای یکی گندم و دیگری کود دانه‌ای شیمیایی تریپل سوپرفسفات در گروه مهندسی بیوسیستم دانشگاه کردستان انجام شد. گندم سال زراعی ۹۸ (رقم پژوهش) از مزرعه دانشگاه و کود تریپل سوپرفسفات از بازار تهیه شد. قبل از انجام آزمایش دانه‌های گندم از نظر احتمال وجود مواد اضافی نظیر سنگ و یا چوب مورد بررسی اجمالی قرار گرفت.

ارزیابی کارگاهی سامانه

حسگر مادون قرمز با نقطه کوچکی از سطح ماده برخورد می‌کند و با اندازه‌گیری بازتابش اشعه، ولتاژی متنظر با

ارزیابی مزرعه‌ای سامانه

برای ارزیابی مزرعه‌ای سامانه در حالت استاتیکی داده‌برداری سامانه‌ی نصب‌شده بر روی مخزن دستگاه در حالت بدون حرکت خطی کار و در حالت حرکت یا دینامیکی در شرایطی که تراکتور با سرعت پیشروی ۷ کیلومتر در ساعت (Maleki et al., 2008) حرکت می‌کرد، انجام شد. اندازه سطح مواد از حسگر درون مخزن با گام‌های ۱۰ میلی‌متر از فاصله‌ی ۱۰۰ تا ۵۵۰ میلی‌متر برای گندم و ۱۰۰ تا ۳۵۰ میلی‌متر برای کود تریپل سوپرفسفات انجام شد. اضافه نمودن ۱۰۰ میلی‌متر برای موقعیت قرارگیری حسگر از آن‌رو انجام شد که محدوده عملکرد حسگر از ۱۰۰ میلی‌متر به بعد دارای دقت کافی بود. برای هر اندازه‌گیری ارتفاع حسگر تا سطح مواد، داده‌برداری سه بار تکرار شد. شاخص‌های آماری خطای جذر میانگین مربعات (RMSE) و میانگین قدرمطلق خطا (MAE) برای اعتبارسنجی مدل‌های به دست آمده مورد استفاده قرار گرفت. این دو شاخص از معادلات زیر به دست می‌آیند (Chai & Draxler, 2014):

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (y_i - \hat{y}_i)^2} \quad (1)$$

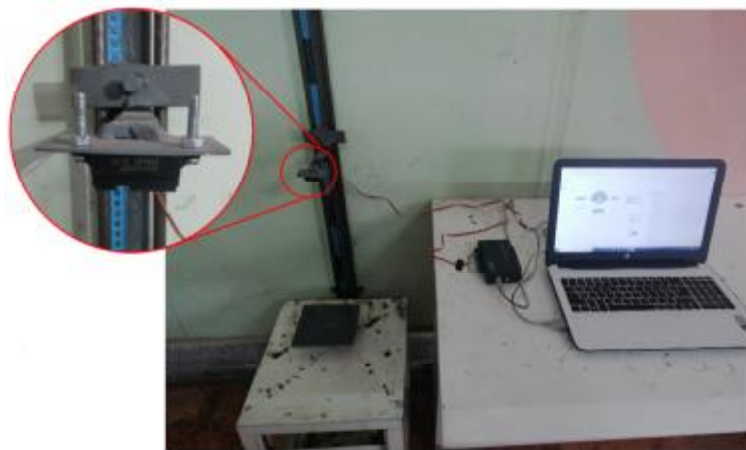
$$MAE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |y_i - \hat{y}_i| \quad (2)$$

که در آن N تعداد داده‌های اندازه‌گیری شده، y_i مقدار واقعی اندازه‌گیری شده و \hat{y}_i مقدار تخمین زده شده به‌وسیله مدل تخمین‌گر هستند.

شد (شکل ۴). با حرکت دادن گیره نگه‌دارنده، حسگر در راستای عمودی جابه‌جا شده و آزمایش لازم برای اندازه‌گیری سطح انجام شد. باتوجه به این که ارتفاع معمول مخزن بذر و کود اکثر خطی‌کارها به‌ترتیب حدود ۴۵۰ تا ۶۵۰ میلی‌متر و ۱۵۰ تا ۳۰۰ میلی‌متر است، فاصله از ۱۰۰ تا ۶۵۰ میلی‌متر با گام‌های ۵۰ میلی‌متر برای تغییر فاصله در نظر گرفته شد. سه سطح چوب، فلز (ورقه‌ی فولادی) و خاک برای تعیین فاصله از حسگر در نظر گرفته شد. با ثبت فاصله حسگر از سطح ماده و همزمان اندازه‌گیری میزان ولتاژ خروجی حسگر با کمک یک نرم‌افزار که به همین منظور در محیط LabVIEW تهیه شده بود، داده‌برداری انجام شد (شکل ۵).

پیاده‌سازی سامانه بر روی خطی کار

سامانه اندازه‌گیری برخط سطح بذر و کود مخزن کارنده مطابق شکل ۶ بر روی خطی کار-کودکار مورد استفاده در این تحقیق پیاده‌سازی شد. حسگرهای مادون قرمز با فاصله معین در وسط و پشت درب مخزن خطی کار-کودکار نصب شدند. دو حسگر یکی برای اندازه‌گیری سطح کود و دیگری برای اندازه‌گیری سطح بذر در نظر گرفته شد. پس از واسنجی کارگاهی حسگر و اطمینان از صحت اندازه‌گیری، ارزیابی حسگر در دو حالت سکون کامل مخزن و در حالت حرکت در مزرعه مورد آزمایش قرار گرفت.

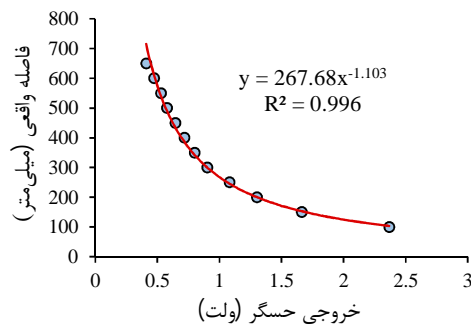


شکل ۵- سامانه آزمایشگاهی واسنجی سطح سنج مادون قرمز برای اندازه‌گیری سطح فلز، چوب و خاک

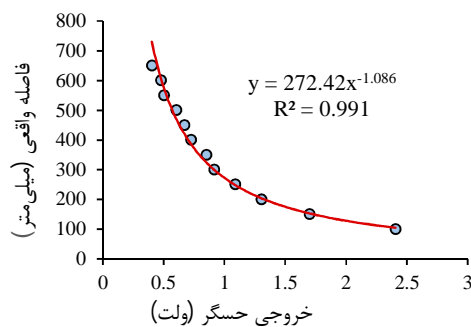


شکل ۶- پیاده‌سازی سامانه فاصله‌سنج بر روی خطی کار- کودکار

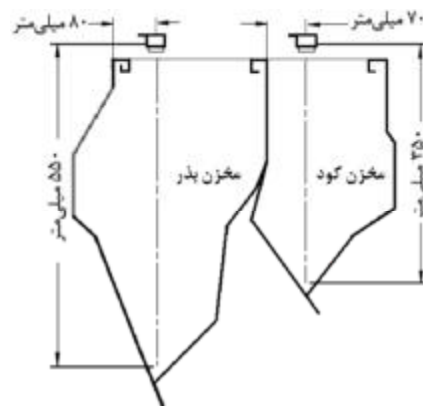
ولتاژ حسگر به‌عنوان متغیر مستقل در نظر گرفته شده است. معادلات واسنجی برای هر سه سطح حاکی از ارتباط منطقی بین میزان فاصله از سطح و ولتاژ خروجی حسگر است.



شکل ۸- برازش فاصله حسگر تا سطح چوب و ولتاژ خروجی حسگر



شکل ۹- برازش فاصله حسگر تا سطح فلز و ولتاژ خروجی حسگر



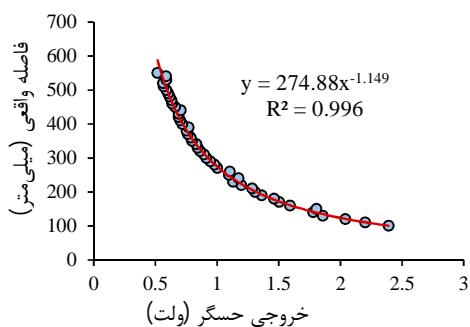
شکل ۷- شماتیک موقعیت قرارگیری حسگرهای مادون‌قرمز بر روی مخزن کود و مخزن بذر

نتایج و بحث

نتایج ارزیابی کارگاهی

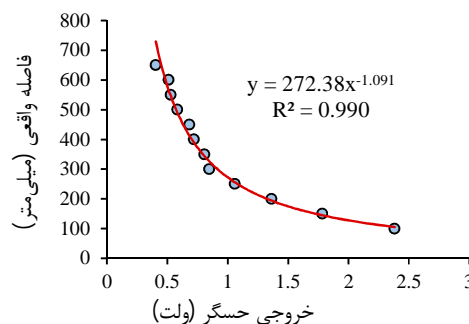
با توجه به این که خروجی حسگر مادون‌قرمز به‌صورت ولتاژ اندازه‌گیری می‌شود، نمودارهای واسنجی بین ولتاژ خروجی حسگر و فاصله اندازه‌گیری‌شده حسگر از سطح مواد ایجاد شدند. در شکل‌های ۸ الی ۱۰ این نمودارها برای سه سطح چوب، فلز و خاک در مرحله واسنجی کارگاهی نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، ضریب تبیین چوب ۰/۹۹۶، فلز ۰/۹۹۱ و خاک ۰/۹۹۰ به دست آمد. اختلاف ناچیز بین این نتایج عمدتاً به‌دلیل میزان صافی سه سطح مورد آزمایش است که میزان بازتابش اشعه مادون‌قرمز را اندکی تحت تأثیر قرار داده است. فاصله حسگر تا سطح به‌عنوان متغیر وابسته و

فاصله بین حسگر تا سطح ماده را پیموده و بازتاب می‌یابد، بنابراین اختلاف بسیار کمی در مدل‌های به دست آمده برای دو حالت استاتیکی و دینامیکی مشاهده می‌شود. اما از آنجا که فرکانس داده‌برداری حدود ۲۳ داده در ثانیه است، با اندک تغییری که در سطح ماده در حالت دینامیکی و در محدوده زمانی کمتر از یک ثانیه ایجاد شود میانگین داده‌ها دستخوش تغییر خواهد شد درحالی‌که در حالت استاتیکی بدون هرگونه تغییر باقی مانده و اعداد یکنواخت‌تری را ثبت می‌کند.



شکل ۱۱- برازش فاصله حسگر تا سطح گندم و ولتاژ خروجی حسگر در حالت استاتیکی

در پژوهشی (Mohammadi *et al.*, 2018) که بر روی حسگر فراصوتی و با هدف تشخیص ارتفاع مخزن انجام شد، نتایج ارزیابی در هر دو حالت استاتیکی و دینامیکی برای تعیین سطح گندم با ضریب تبیین به ترتیب ۰/۹۸۲ و ۰/۹۷۷ و برای کود پتاس با ضریب تبیین به ترتیب ۰/۹۷۳ و ۰/۹۷۳ به دست آمد. همان‌طور که ملاحظه می‌شود، نتایج به دست آمده زمانی‌که از حسگر مادون قرمز استفاده می‌شود، بهبود یافته است. از آنجا که در پژوهش مورد اشاره، حسگر فراصوتی به گرد و خاک ما بین حسگر و سطح ماده حساس نیست، در یک مقایسه فنی بین حسگر فراصوتی و مادون قرمز می‌توان اظهار داشت که حسگر فراصوتی نسبت به گرد و غبار دارای حساسیت کمتری است درحالی‌که حسگر مادون قرمز نسبت به فضاهای خالی بین دانه‌های مواد گرانوله حساسیت کمتری دارد. به‌علاوه سطح برخورد امواج حسگر فراصوتی با ماده، با افزایش فاصله از آن پهن‌تر شده که از دقت آن می‌کاهد، چرا که انحراف امواج دریافتی بیشتر می‌شود. اما مهم‌ترین نکته در مقایسه این دو نوع حسگر این است که حسگر فراصوتی باید برای هر نوع سطح خصوصاً سطح مواد گرانوله



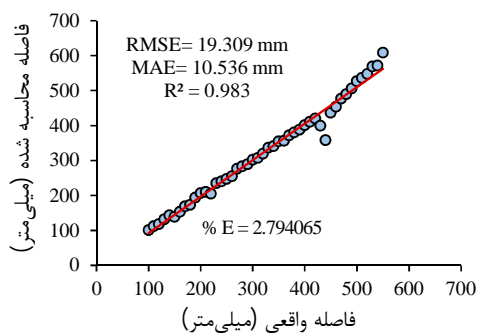
شکل ۱۰- برازش فاصله حسگر تا سطح خاک و ولتاژ خروجی حسگر

همان‌طور که از نمودارهای واسنجی استنباط می‌شود، حداقل فاصله سنسور به وسیله حسگر ۱۰۰ میلی‌متر است. بنابراین می‌بایست محل نصب آن در حالتی که مخزن در حالت کاملاً پر قرار دارد، حداقل ۱۰۰ میلی‌متر قرار داده و تنظیمات لازم انجام شود تا کارایی حسگر در تشخیص فاصله سطح ماده دچار نقصان نشود. شایان ذکر است که نقاط به دست آمده روی دیاگرام کلیه نقاطی است که حسگر برای فاصله‌های اندازه‌گیری شده فراهم کرده و هیچ‌گونه داده پرتی از مجموع داده‌ها حذف نشده است.

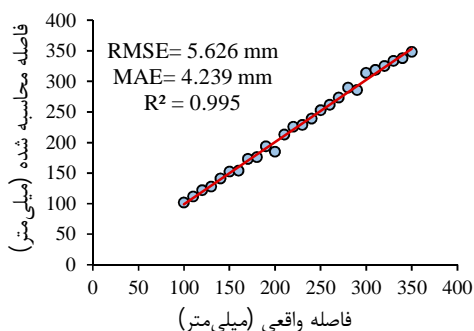
نتایج ارزیابی مزرعه‌ای سامانه

هدف اساسی از انجام آزمایش‌های بخش دوم، یافتن رابطه‌ای بین سیگنال حسگر و فاصله سطح مواد از حسگر بود. همان‌طور که قبلاً اشاره شد، این رابطه به صورت برقراری برازش بین داده‌های این دو متغیر می‌تواند باشد. در شکل‌های ۱۱ و ۱۲ نمودارهای برازش فاصله حسگر تا سطح و ولتاژ خروجی حسگر مادون قرمز برای دو سطح گندم و کود تریپل سوپرفسفات در حالت استاتیکی آورده شده است. شکل‌های ۱۳ و ۱۴ نمودارهای برازش فاصله حسگر تا سطح و ولتاژ حسگر مادون قرمز در حالت دینامیکی را نشان می‌دهند. همان‌طور که مشاهده می‌شود، برازش نمودارها به صورت غیرخطی برای هر دو سطح در دو حالت استاتیکی و دینامیکی به خوبی صورت گرفته است. ضرایب تبیین به دست آمده بیان‌کننده دقت و حساسیت بالای حسگر در سنسور ارتفاع سطح مواد داخل مخزن در حالت استاتیکی و دینامیکی است. اگرچه ضرایب تبیین به دست آمده نشان‌دهنده قدرت بیشتر مدل‌های تخمین‌گر در حالت استاتیکی است، ذکر این نکته ضروری است که امواج ساطع شده با سرعت نور،

استفاده از معادلات واسنجی به فاصله حسگر از سطح ماده تبدیل شد. جهت اعتبارسنجی سامانه و رابطه‌ی بین فاصله اندازه‌گیری شده به وسیله حسگر و فاصله واقعی، رگرسیون خطی بین این دو متغیر در حالت استاتیکی و دینامیکی برای گندم و کود تریپل سوپرفسفات به دست آمد. شکل‌های ۱۵ الی ۱۸ نمودارهای برازش بین این دو متغیر، خطای جذر میانگین مربعات و میانگین قدرمطلق خطا را نشان می‌دهند. ضریب تبیین به‌عنوان معیار صحت اندازه‌گیری سطح گندم در دو حالت استاتیکی و دینامیکی به ترتیب $0/983$ و $0/961$ به دست آمد. ضریب تبیین به‌عنوان معیار صحت اندازه‌گیری سطح کود تریپل سوپرفسفات در دو حالت استاتیکی و دینامیکی به ترتیب $0/995$ و $0/961$ به دست آمد. کمترین خطا در اندازه‌گیری سطح کود تریپل سوپرفسفات در حالت استاتیکی و بیشترین خطا در اندازه‌گیری سطح گندم در حالت استاتیکی مشاهده شد.

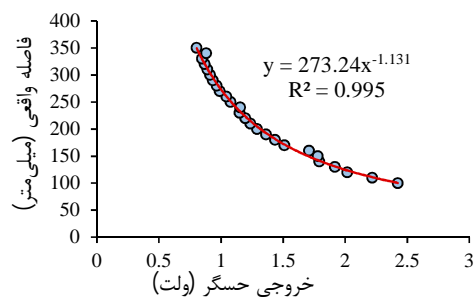


شکل ۱۵- برازش بین فاصله واقعی و فاصله اندازه‌گیری شده به وسیله حسگر برای سطح گندم در حالت استاتیکی

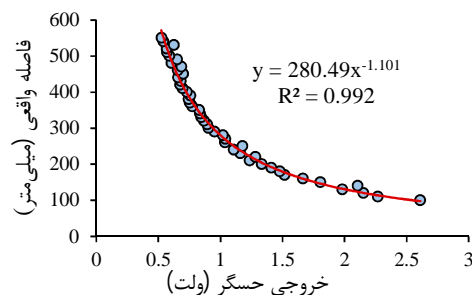


شکل ۱۶- برازش بین فاصله واقعی و فاصله اندازه‌گیری شده به وسیله حسگر برای سطح کود تریپل سوپرفسفات در حالت استاتیکی

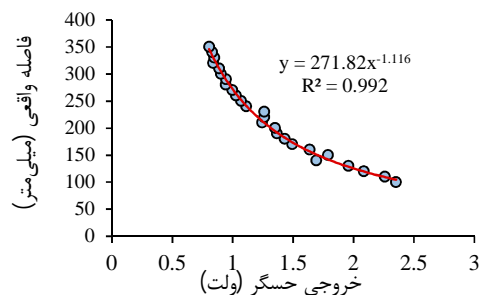
واسنجی جداگانه شود، درحالی‌که حسگر مادون قرمز تقریباً در تشخیص فاصله به واسنجی مستقل نیاز نخواهد داشت. از نظر هزینه راه‌اندازی و نصب نیز حسگر مادون قرمز حدود ۵۵ درصد هزینه حسگر فراصوتی را دارد. با در نظر گرفتن قیمت یک دستگاه خطی‌کار- کودکار هزینه راه‌اندازی یک حسگر مادون قرمز کمتر از ۱ درصد هزینه خرید آن خواهد بود.



شکل ۱۲- برازش فاصله حسگر تا سطح کود تریپل سوپرفسفات و ولتاژ خروجی حسگر در حالت استاتیکی



شکل ۱۳- برازش فاصله حسگر تا سطح گندم و ولتاژ خروجی حسگر در حالت دینامیکی



شکل ۱۴- برازش فاصله حسگر تا سطح کود تریپل سوپرفسفات و ولتاژ خروجی حسگر در حالت دینامیکی

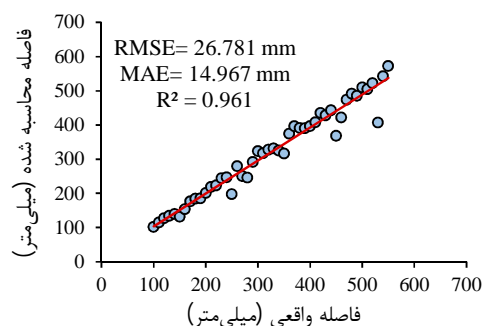
اعتبارسنجی سامانه

با توجه به روابط به دست آمده در بخش نتایج ارزیابی استاتیکی و دینامیکی، مقادیر ولتاژ خروجی حسگر با

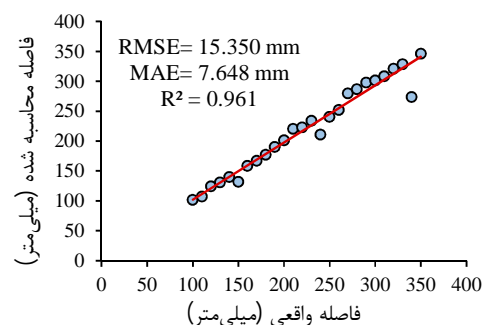
می‌شود که این سامانه به‌عنوان یک روش قابل اطمینان برای اندازه‌گیری برخط ارتفاع سطح مواد دانه‌ای مخزن خطی کارها و کودکارها و یا سطح دانه در مخزن کمباین‌ها می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد.

منابع

1. Boumans, G. (1985). *Grain Handling and Storage*. Elsevier Science Publishers. 436 p.
2. Chai, T., & Draxler, R. R. (2014). Root mean square error (RMSE) or mean absolute error (MAE)? –Arguments against avoiding RMSE in the literature. *Geoscientific Model Development*, 7: 1247-1250.
3. Ghooosi, M. R., & Ghooosi, M. (2017). The measurement of reservoirs industrial level using radar transmitter instrumentation in hazardous environments. *2nd International Conference on Electrical Engineering*. University of Allameh Majlesi, Tehran, Iran. 14 September, 1-16. (In Persian.)
4. Ghooosi, M. R., & Hajipor, M. R. (2016). The promotion of reservoirs of system with designed and installed transmitter SAPFIR-22M for measurement of reservoirs level in various industries. *International Conference on Electrical Engineering*. Research Organization of Baqir al-ulum, Tehran, Iran. Tehran, Iran, 1 June 2016, 16-30. (In Persian.)
5. Huang, C., White, I., Thwaite, E. G., & Bendeli, A. (1988). A noncontact laser system for measuring soil surface topography. *Soil Science Society of America Journal*, 52(2): 350-355.
6. Jester, W., & Klik, A. (2005). Soil surface roughness measurement—methods, applicability, and surface representation. *Catena*, 64: 174-192.
7. Karimi, H., Navid, H., Besharati, B., & Eskandari, I. (2019). Assessing an infrared-based seed drill monitoring system under field operating conditions. *Computers and Electronics in Agriculture*, 162: 543-551.
8. Kielb, J. A., & Pulkrabek, M. O. (1999). Application of a 25 GHz FMCW radar for industrial control and process level measurement. *Digest to the IEEE MTT-S International Microwave Symposium*. June 13-19, Anaheim, California, 1: 281-284.
9. Lee, J., Yamazaki, M., Oida, A., Nakashima, H., & Shimizu, H. (1996). Non-contact sensors for distance measurement from ground surface. *Journal of Terramechanics*, 33(3): 155-165.
10. Maleki, M. R., Ramon, H., Baerdemaeker, D. E., & Mouazen, A. M. (2008). A study on the time response of a soil sensor-based



شکل ۱۷- برازش بین فاصله واقعی و فاصله اندازه‌گیری شده به‌وسیله حسگر برای سطح گندم در حالت دینامیکی



شکل ۱۸- برازش بین فاصله واقعی و فاصله اندازه‌گیری شده به‌وسیله حسگر برای سطح کود تریپل سوپرفسفات در حالت دینامیکی

نتیجه‌گیری

در این پژوهش ضمن تأکید بر لزوم اندازه‌گیری سطوح مواد دانه‌ای در جهت خودکار کردن ادوات و ماشین‌های کشاورزی، یک سامانه‌ی مجهز به حسگر مادون قرمز به منظور اندازه‌گیری ارتفاع سطح مواد داخل مخزن خطی کارها و کودکارها طراحی، نصب و ارزیابی شد. نتایج ارزیابی کارگاهی دستگاه نشان داد که این سامانه دارای دقت قابل توجهی در تشخیص فاصله سطوح مختلف نظیر سنگ، چوب و یا خاک دارد. به‌علاوه، این سامانه برای دو نوع ماده گرانوله متداول شامل بذر گندم و کود تریپل سوپرفسفات هم در حالت ثابت و هم در حال حرکت در مزرعه با موفقیت آزمایش شد. سامانه اندازه‌گیری مورد آزمایش در این تحقیق را با هزینه بسیار کم و در حدود ۱ درصد قیمت یک خطی‌کار-کود کار می‌توان نصب کرد و مورد استفاده قرار داد. سامانه اندازه‌گیری طراحی شده در این تحقیق قادر است با احتمال ۹۷ درصد در تعیین سطح بذر گندم و با احتمال ۹۸ درصد در تعیین سطح کود تریپل سوپرفسفات عمل کند. در پایان نتیجه‌گیری

- variable rate granular fertilizer applicator. *Biosystems Engineering*, 100: 160-166.
11. Mirzaee, M., Ruy, S., Ghazavi, G., & Bogner, C. (2009). A study of soil micro topography using photogrammetry and laser-scanning methods. *Journal of Hydrology and Soil Science*, 12(46): 737-756. (In Persian).
 12. Mohammadi, F., Maleki, M. R., & Khodaei, J. (2018). The on-line measurement of seed Level in drills hopper using ultrasonic method. *11th National Congresses on Biosystem Engineering and Mechanization*. Hamedan. Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran 3-5 September, 1-9. (In Persian).
 13. Nayerifard, T., & Amiri Parian, J. (2015). *3D profile extraction of soil surface using laser based on digital image processing*. Thesis for Master of Science, Faculty of Agriculture, Bu-Ali Sina University, 82 p. (In Persian).
 14. Robichau, P. R., & Molnau, M. (1990). Measuring soil roughness changes with an ultrasonic profiler. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers*, 33: 1851-1858.
 15. Römkens, M. J. M., Singarayar, S., & Gantzer, C. J. (1986). An automated non-contact surface profile meter. *Soil and Tillage Research*, 6: 193-202.
 16. Sawada, R., Kikuchi, J., Shibamura, E., Yamashita, M., & Yoshimura, T. (2003). Capacitive level meter for liquid rare gases. *Cryogenics*, 43(8): 449-450.
 17. Taconet, O., & Ciarletti, V. (2007). Estimating soil roughness indices on a ridge-and-furrow surface using stereo photogrammetry. *Soil and Tillage Research*, 93: 64-76.
 18. Vogt, M. (2014). An optimized float for reliable radar tank level measurement in bypass pipes, Aachen. *German Microwave Conference*. 10-12 March 2014, 1-4. Aachen, Germany.
 19. Yu Wu, C., Jacobson, A. R., Laba, M., & Baveye, P. C. (2009). Accounting for surface roughness effects in the near-infrared reflectance sensing of soils. *Geoderma*, 152: 171-180.

