اندازه‌گیری برخط سطح بذر مخزن خطی‌کارها با استفاده از روش اولتراسونیک

فرزاد محمدی[۱]، محمد رضا ملکی[۲]، جلال خدائی[۳]

[۱] دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه کردستان؛ Email: f.mohammadi@uok.ac.ir
[۲] استادیار گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه کردستان ؛ Email: mrmaleki@uok.ac.ir
[۳] استادیار گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه کردستان ؛ Email: j.khodaei@uok.ac.ir

چکیده

اندازه‌گیری سطح مواد داخل مخازن خطی‌کارها و کودکارها از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. چرا که به دلیل عدم اطلاع لحظه‌ای راننده از وضعیت ممکن است بخشی از سطح مزرعه بدون کود و یا بذر باقی بماند. در تحقیق حاضر یک سطح‌سنج اولتراسونیک که براساس امواج ماوراء صوت و به روش غیر تماسی اندازه‌گیری سطح را انجام می‌دهد، طراحی و ارزیابی شد. ابتدا سطح‌سنج اولتراسونیک (مدلHC-SR04) روی سه سطح مختلف (چوبی، فلزی و شیشه‌ای) واسنجی شد و خطی بودن واکنش حسگر به فواصل تعیین شده با ضریب تعیین ۰/۹۹ اثبات شد. سپس ارزیابی سامانه در دو حالت استاتیکی و دینامیکی برای تعیین سطح گندم وکود شیمیایی دانه‌ای در سه تکرار در یک محدوده ۵۰mm تا ۴۵۰mm با گام‌های ۱۰mm صورت گرفت. در هر دو حالت ضریب تعیین بالاتر از ۰/۹۷ با تغییرات خطی بین داده‌های حسگر و اندازه‌گیری واقعی بدست آمد. نتایج نشان داد که دقت و حساسیت سامانه در شرایط مزرعه برای سنجش ارتفاع سطح مواد دانه‌ای داخل مخزن بسیار قابل قبول بوده و بنابر این می‌تواند برای اتوماسیون این ادوات بکار گرفته شود.

کلمات کلیدی: ابزار دقیق، سطح‌سنج، حسگر اولتراسونیک، خطی‌کار، مخزن بذر

The On-line Measurement of Seed Level in Drills Hopper using Ultrasonic Method

Farzad Mohammadi[1], Mohammad Reza Maleki[2], Jalal Khodaei[3]

[1]M.Sc. student in Mechanics of Biosystems Engineering, Department of Biosystems Engineering, Faculty of Agriculture, University of Kurdistan, Email: f.mohammadi@uok.ac.ir
[2]Assistant Professor, Department of Biosystems Engineering, Faculty of Agriculture, University of Kurdistan, Email: mrmaleki@uok.ac.ir
[3]Assistant Professor, Department of Biosystems Engineering, Faculty of Agriculture, University of Kurdistan, Email: j.khodaei@uok.ac.ir

ABSTRACT

The measurement of the granular materials in grain/fertilizer drills box is a matter of debate where its operator should be instantaneously informed form not cultivated areas. The objective of this study was to develop a none contact ultrasonic sensor for measurement of the granules level in seed/fertilizer box or hopper. An ultrasonic HC-SR04 sensor was initially tested and calibrated for three different surfaces wood, glass and metal surfaces. A strong correlation of 0.99 was found between estimated and measured distances. Later, the statics and dynamics test were carried out and a high correlation of 0.97 was found for both tests introducing the method to be useful for materials level notification. Therefore, the method might be suitable for full automation of agriculture machinery.

Keywords: Industrial instruments, Level meter, Ultrasonic sensor, grain drill, seed hopper

۱- فرزاد محمدی، Email: f.mohammadi@uok.ac.ir، ۰۹۱۸۰۵۲۳۶۳۱

۱- مقدمه

وسایل و تجهیزاتی که به منظور اندازه‌گیری کمیت‌های فیزیکی مورد استفاده قرار می گیرند، ابزاردقیق نام دارند (Jahanshahi and fard, 2012). در دنیای امروز، مسئله اندازه‌گیری که توسط دستگاه‌های ابزار دقیق انجام می‌شود امری لازم و ضروری به حساب می‌آید (Ghoodsi and Hajipor, 2016). اندازه‌گیری ارتفاع سطح مواد و کنترل آن یکی از مهم‌ترین اندازه‌گیری‌ها در صنایع مختلف از جمله کشاورزی می‌باشد. دو روش کلی برای اندازه‌گیری ارتفاع سطح داخل مخازن وجود دارد: تماسی و غیر تماسی. روش غیر تماسی خود شامل روش‌های مختلفی مانند اولتراسونیک (Robichau and Molnau, 1990)، مادون قرمز (Römkens et al., 1986)، خازنی، لیزری (Taconet and Ciarletti, 2007; Huang et al., 1988)و ترانسمیتر راداری ابزاردقیقی می‌باشد. در مطالعه‌ای دو روش تماسی و غیر تماسی برای اندازه‌گیری فاصله از سطح خاک و اندازه‌گیری زبری سطح خاک استفاده شد و با توجه به جمع‌آوری داده‌ها و محاسبات، وضوح، دقت و توانایی ارائه ویژگی‌های سطح خاک مقایسات صورت گرفت. نتایج نشان داد که روش‌های تماسی دارای وضوح و دقت محدودی هستند و دقت و وضوح بالا تنها باروش غیر تماسی حاصل می‌شود (Jester and Klik, 2005). در پژوهشی از ترانسمیتر راداری ابزاردقیق جهت اندازه‌گیری مخازن در محیط‌های خطرناک شیمیایی و همچنین با ارتفاع بالا استفاده شد. نتایج حاصله در این شرایط حاکی از دقت بسیار بالا و حداقل خطای مقادیر اندازه‌گیری ترانسمیتر می‌باشد (Ghoodsi and Ghoodsi, 2017). سیستم‌های اندازه‌گیری راداری به صورت گسترده در صنعت کاربردی و عملیاتی شده‌اند که در اندازه‌گیری سطح مایعات و جامدات مورد استفاده قرار گرفتند (Kielb and Pulkrabek, 2014; Vogt, 2004). اما استفاده از این روش مستلزم هزینه بالا بوده و برای مخازن کوچک شبیه مخزن خطی‌کارها به دلیل برخورد و بازتاب امواج به دیواره‌های مخزن مناسب نمی‌باشد. در مطالعه‌ای از روش خازنی برای اندازه‌گیری سطح سیال‌های نادر گازی استفاده شد (Sawada et al., 2003). باتوجه به این که این حسگرها دارای ظرفیت خازنی می‌باشند و دی الکتریک به کار رفته در آن‌ها به دما ، رطوبت، چگالی حجمی و اندازه ذرات حساس می‌باشند و باعث تغییرات آن می‌گردد، از این رو نشان‌دهنده سطح مذکور دارای خطا می‌باشد که نمی‌توان به درستی سطح را توسط سیستم اتومات کنترل نمایند (Ghoodsi and Hajipor, 2016). در پژوهشی با مطالعه بر روی روش‌های غیرتماسی اندازه‌گیری فاصله از سطح زمین، دو حسگر اولتراسونیک 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 اولتراسونیک نسبت به شدت نور و نوع خاک و دما و رطوبت محیط حساس نیست (Lee et al., 1996). بنابراین این حسگر برای محیط‌های باز و دارای گرد و غبار مناسب می‌باشد.

در اندازه‌گیرهای اولتراسونیک، یک پالس توسط یک کریستال پیزوالکتریک (فرستنده) بسته به نوع کاربرد در محدوده‌ی فرکانسی ۴۰kHz تا چند MHz تولید و ارسال می‌شود. وقتی موج به سطح جسمی با هدف سنجش ارتفاع آن برخورد می‌کند، مقداری از آن در برخورد با سطح بازتابیده شده و توسط دستگاه (گیرنده) دریافت می‌شود. سپس مدت زمانی که از انتشار تا دریافت انعکاس طول می‌کشد، اندازه‌گیری شده و با استفاده از سرعت صوت، فاصله تاسطح جسم محاسبه می‌شود (Koval et al., 2016; Licznerski et al., 2011).

در تجهیزات کشاورزی نظیر خطی‌کارها و کودکارها به دلیل احتمال خالی شدن مخزن و عدم اطلاع کاربر، ممکن است بخش‌هایی از سطح مزرعه بدون کاشت بذر و کود باقی بماند. این امر موجب شده که روش‌هایی برای رفع این مسئله مورد بررسی قرار گیرند. سازندگان ماشین‌های کشاورزی با ملاحظه مسائل اقتصادی، از روش‌های سنتی و تماسی برای رفع این مسئله استفاده نموده‌اند. با توجه به این که تجهیزات اندازه‌گیری در ماشین‌های کشاورزی رو به گسترش هستند و تجهیزات قدیمی دیگر پاسخگوی سیستم‌های مدرن و جدید نیستند و نیز استفاده از این نوع ابزار ها با درصد خطای بالا و تعمیر و نگهداری زیاد همراه می باشد و به دلیل تماس مداوم با مواد به مرور زمان فرسودگی قطعات حاصل و با گذشت زمان، این تجهیزات قادر به نشان دادن مقادیر صحیح نمی‌باشند. بنابراین در صورتی که برای اندازه‌گیری سطح مواد داخل مخزن از روشی دیگر خصوصاً روش‌های غیر تماسی استفاده شود دقت اندازه‌گیری با کمترین خطای ممکن افزایش می‌یابد. هدف از انجام این پژوهش طراحی، نصب و ارزیابی سامانه‌ی سطح‌سنج اولتراسونیک بر روی مخزن خطی‌کارها و کودکارها به منظور اندازه‌گیری ارتفاع سطح مواد داخل مخزن می‌باشد.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- برنامه نویسی و پیاده سازی سخت‌افزارهای کنترل

یک حسگر فرستنده و گیرنده اولتراسونیک جهت اندازه‌گیری فاصله سطح مواد گرانوله (HC-SR04 با دقت ۰/۰۰۳ متر، دامنه اندازه‌گیری ۴-۰/۰۲ متر) مورد استفاده قرار گرفت. این حسگر دارای این مزیت است که به جنس سطح مورد اندازه‌گیری، شدت نور و گرد و غبار حساس نبوده و دارای قیمتی نسبتاً ارزان هم می‌باشد. کنترل حسگر بوسیله یک برنامه کامپیوتری در محیط نرم‌افزاری Arduino-1.6.12 صورت گرفت. علاوه بر حسگر فرستنده و گیرنده اولتراسونیک سایر سخت‌افزارهای مورد نیاز جهت پیاده‌سازی سامانه بر روی خطی‌کار متشکل است از: ۱- حسگر دما و

رطوبت DHT11 (دامنه اندازه‌گیری دما ۵۰-۰ درجه سانتی‌گراد، دامنه اندازه‌گیری رطوبت ۵۰٪-۲۰٪ RH، میزان خطای دما ۲ درجه و میزان خطای رطوبت ۵٪). از مزایای آن دقت نسبتا مناسب، جریان مصرفی کم و خروجی کالیبره شده می‌باشد، ۲- برد Arduino Uno R3 (ساخت کشور ایتالیا، یک میکروکنترلر بر پایه‌ی ATmega328) از مزایای آن قابلیت اتصال به کامپیوتر از طریق USB و قابلیت کار با ولتاژ پایین تا ۵ ولت می‌باشد، ۳- نمایشگر LCD کاراکتری 1602، LED و بازر ۵ ولت جهت نمایش ارتفاع سطح مواد داخل مخزن، ۴- کابل USB و سیم انتقال داده (کابل HX ۴ پایه) و ۵- منبع تغذیه (باتری ۱۲ ولت تراکتور) (شکل۱).

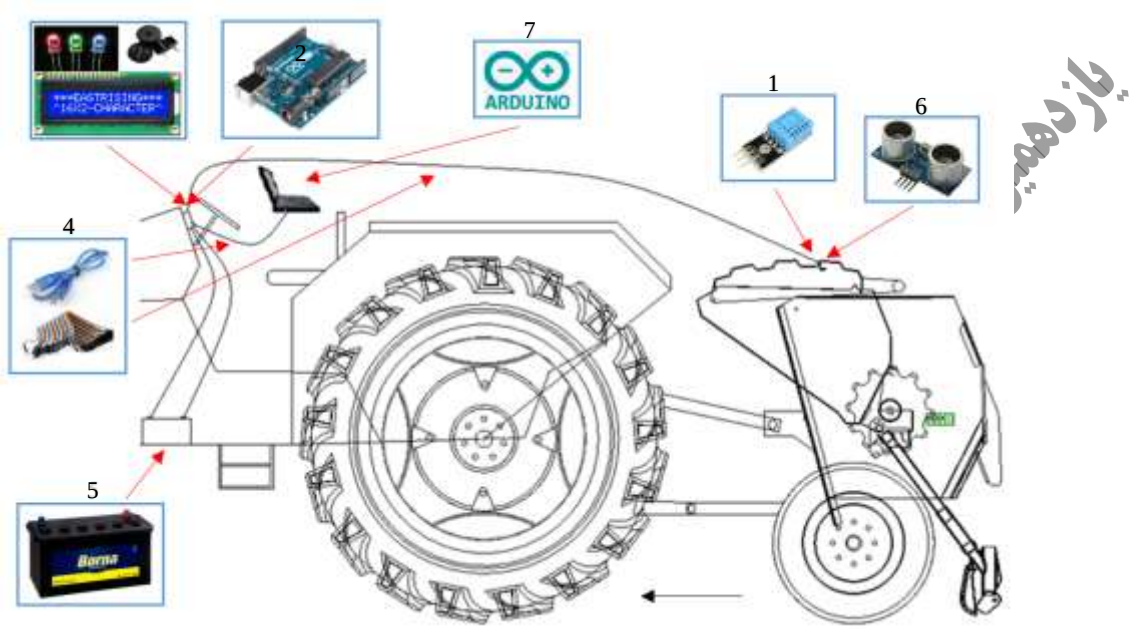

Figure 1. Hardware and software components of the ultrasonic level meter system on the grain drill hopper: 1- Humidity and Temperature sensor DHT11, 2- Arduino Uno R3 Board, 3- 1602 Character LCD, LED and Buzzer, 4- USB Cable And Data transfer Cable, 5- Power Supply (12V Battery), 6- Ultrasonic sensor HC-SR04 and 7- Arduino-1.6.12 Software .

شکل ۱- اجزای سخت‌افزاری و نرم‌افزاری سامانه سطح‌سنج اولتراسونیک بر روی مخزن خطی‌کار: ۱- حسگر دما و رطوبت DHT11، ۲- برد Arduino Uno R3، ۳- نمایشگر LCD کاراکتری 1602، LED و بازر، ۴- کابل USB و سیم انتقال داده، ۵- منبع تغذیه (باتری ۱۲ ولت)، ۶- حسگر اولتراسونیک HC-SR04 و ۷- نرم‌افزار Arduino-1.6.12.

ولتاژ برد Arduino مورد استفاده می‌بایست از طریق منبع تغذیه خارجی تامین شده و ولتاژ پیشنهادی برای آن ۱۲-۷ ولت می‌باشد؛ لذا به منظور جلوگیری از آسیب احتمالی مدار ناشی از ولتاژهای بالای باتری تراکتور از یک رگلاتور 7808 جهت تامین ولتاژ ۸ ولت استفاده شد، همچنین از یک دیود یکسوکننده جهت جلوگیری از آسیب احتمالی ناشی از جابه‌جایی قطب مثبت و منفی هنگام تغذیه مدار استفاده شد (شکل۲). شکل ۳ بلوک دیاگرام سامانه سطح‌سنج اولتراسونیک را نشان می‌دهد. حسگر فاصله‌سنج اولتراسونیک برای اندازه‌گیری فاصله یک پالس صدا در فضا منتشر می‌کند، زمانی که این پالس به جسم برخورد کرد، از روی آن بازتاب شده و به سمت حسگر برمی‌گردد. حسگر زمان فرستادن صدا و دریافت بازتابش آن را اندازه‌گیری کرده و این اطلاعات را به Arduino Uno R3 منتقل می‌کند. با دانستن زمان انتقال و بازتاب پالس صدا از حسگر به جسم و همچنین سرعت صوت، امکان محاسبه فاصله تا جسم وجود دارد. به این ترتیب با دانستن ارتفاع مخزن، ارتفاع سطح مواد گرانوله نیز مشخص می‌شود. سرعت صوت در هوا با توجه به میزان رطوبت و دما تغییر خواهد کرد. بنابراین برای محاسبه دقیق‌تر فاصله، میزان رطوبت و دما در محیط در نظر گرفته شد. با استفاده از نرم‌افزار Arduino-1.6.12 و Excel 2013 داده‌ها جهت تجزیه و تحلیل بر روی کامپیوتر با فاصله‌ی زمانی ۰/۱ ثانیه خوانده و ذخیره شدند. اندازه‌گیری فاصله از طریق رابطه۱ قابل محاسبه است (Bohn, 1988).

$$d = \frac{t}{2} c \times 100 \qquad (۱)$$

که در این رابطه d فاصله (cm)، t زمان رفت و برگشت موج اولتراسونیک (s) و c سرعت صوت با تاثیر دما و رطوبت محل (m/s) می‌باشد که از رابطه۲ قابل محاسبه است (Bohn, 1988).

$$c = 331.45 + (0.606T) + (0.0124H) \quad (۲)$$

که در این رابطه T دمای محیط (°C)، H رطوبت (%) و ۳۳۱/۴۵ سرعت صوت (m/s) در دمای صفر درجه سانتی‌گراد و رطوبت صفر درصد می‌باشد.

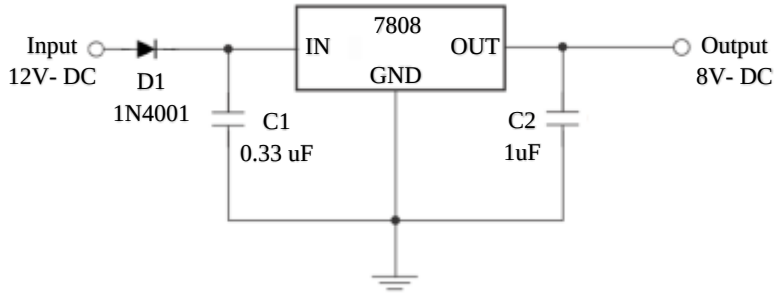

Figure 2. Power supply circuit.

شکل ۲- مدار منبع تغذیه.

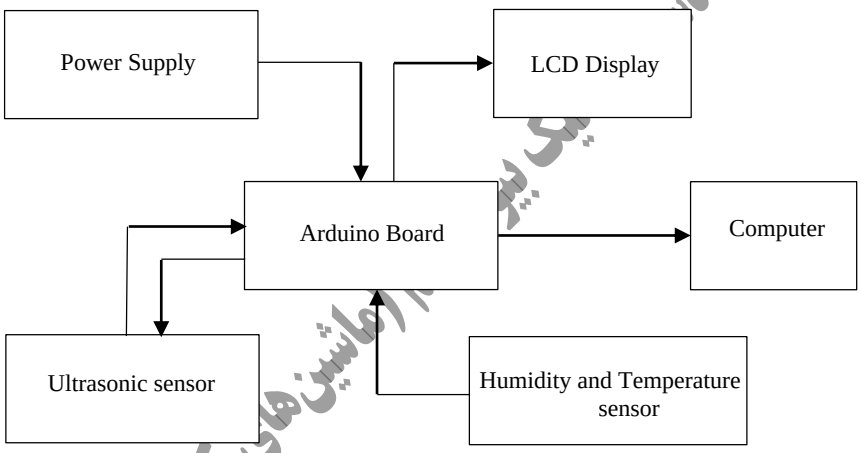

Figure 3. Block diagram of the ultrasonic level meter system.

شکل ۳- بلوک دیاگرام سامانه‌ی سطح سنج اولتراسونیک.

۲-۲- آماده سازی نمونه‌ها

در این مطالعه اندازه‌گیری سطح برای دو نوع ماده دانه‌ای یکی گندم و دیگری کود دانه‌ای شیمیایی پتاس انجام شد. گندم سال زراعی ۹۶ (رقم پژوهش) از مزرعه دانشگاه و کود پتاس از آزمایشگاه خواص فیزیکی مواد گروه مهندسی بیوسیستم دانشگاه کردستان تهیه و دانه‌ها قبل از انجام آزمایش از نظر احتمال وجود مواد اضافی نظیر سنگ و یا چوب مورد بررسی اجمالی قرار گرفت.

۲-۳- پیاده سازی سامانه بر روی خطی‌کار

یک واحد خطی‌کار ۱۹ ردیفه از نوع سوار با ارتفاع مخزن بذر ۴۵۰mm ساخت شرکت صنعتگران کشت چراغی استان کردستان برای این پروژه انتخاب و سامانه‌ی سطح‌سنج اولتراسونیک بر روی آن نصب شد (شکل ۴). حسگر اولتراسونیک با فاصله معین به منظور عدم برخورد امواج اولتراسونیک با دیواره مخزن برای اندازه‌گیری فاصله از حسگر تا سطح مواد، در قسمت وسط طول دستگاه و در بالای مخزن نصب شد (شکل ۵).

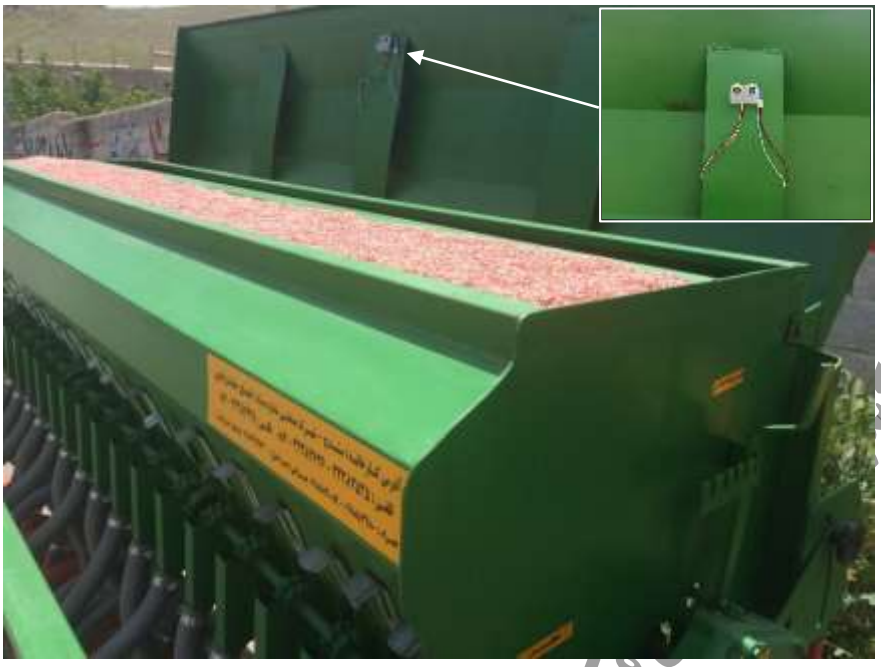

Figure 4. Implementation of the ultrasonic level meter system on a grain drill.

شکل ۴- پیاده‌سازی سامانه‌ی سطح‌سنج اولتراسونیک بر روی خطی‌کار.

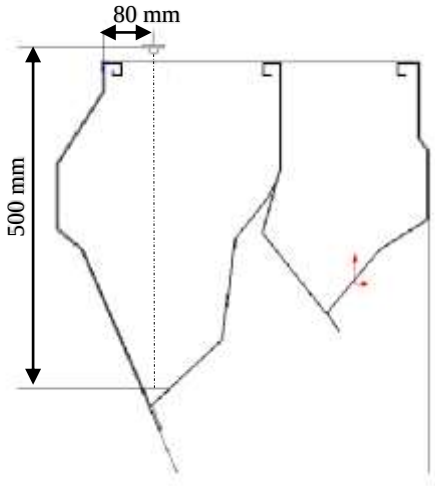

Figure 5. Schematic of sensor positioning on a grain drill.

شکل ۵- شماتیک موقعیت قرار گیری حسگر بر روی خطی‌کار.

۴-۲- ارزیابی سامانه

به منظور واسنجی سامانه‌ی سطح‌سنج اولتراسونیک، از نگه‌دارنده‌ی ابزار (میز قابل تنظیم) دستگاه دریل ستونی که در جهت عمودی دستگاه با دقت ۱mm حرکت می‌کند برای تامین حرکت سطوح مورد آزمایش استفاده شد. باتوجه به این که ارتفاع معمول مخزن خطی‌کارها حدود ۴۵۰mm تا ۶۵۰mm است، از فاصله‌ی ۵۰mm تا ۶۵۰mm با گام‌های ۵۰mm برای سه سطح چوبی، فلزی (ورقه‌ی فولادی) و شیشه‌ای استفاده شد و با توجه به مکانیزم و موقعیت قرارگیری حسگر بر روی ستون دستگاه، مطابق شکل ۶ اندازه‌گیری و واسنجی گردید.

Figure 6. Laboratory calibration of the ultrasonic level meter system.

شکل ۶- واسنجی آزمایشگاهی سامانه‌ی سطح‌سنج اولتراسونیک.

برای ارزیابی حسگر در حالت عملی دو حالت استاتیکی یعنی در حالت سکون کامل مخزن و دینامیکی یعنی در حالت حرکت در مزرعه مورد استفاده و آزمایش قرار گرفت.

۱-۴-۲- ارزیابی استاتیکی

برای ارزیابی سامانه در حالت استاتیکی داده برداری سامانه‌ی پیاده شده بر روی مخزن دستگاه در حالت بدون حرکت ماندن خطی‌کار با گام‌های ۱۰mm از فاصله‌ی ۵۰mm تا ۴۵۰mm و برای دو نوع مواد گرانوله گندم و کود پتاس انجام شد. اندازه گیری برای هر فاصله سه بار تکرار شد.

۲-۴-۲- ارزیابی دینامیکی

برای ارزیابی سامانه به صورت دینامیکی عملیات داده برداری درحالتی که ترکیب تراکتور- خطی‌کار مجهز به سامانه با سرعت عملیاتی ۷ کیلومتر در ساعت (Maleki et al., 2008) حرکت می‌کرد، با گام‌های ۱۰mm از فاصله‌ی ۵۰mm تا ۴۵۰mm و برای دو نوع مواد گرانوله گندم و کود پتاس انجام شد. اندازه‌گیری برای هر فاصله سه بار تکرار شد.

۳- نتایج و بحث

۱-۳- نتایج حاصل از واسنجی سامانه

با توجه به برنامه نویسی انجام شده جهت ثبت داده‌های مربوط به اندازه‌ی فواصل مد نظر برای اندازه‌گیری، در هر ۰/۱ ثانیه یک داده ثبت گردید. پس از استخراج داده‌ها، نمودار خطی برازش بین اندازه‌گیری واقعی و خروجی حسگر برای سه سطح چوبی، فلزی و شیشه‌ای به ترتیب با ضریب تعیین ۰/۹۹۹۹۴۲، ۰/۹۹۹۹۶۹ و ۰/۹۹۹۹۲۳ به دست آمد (شکل ۷). نزدیکی مقادیر فواصل به‌دست آمده توسط حسگر با مقادیر متناظر فاصله‌های واقعی برای جنس سطوح مختلف و ضرایب تعیین بالای به‌دست آمده حاکی از دقت قابل قبول حسگر اولتراسونیک در اندازه‌گیری فاصله می‌باشد.

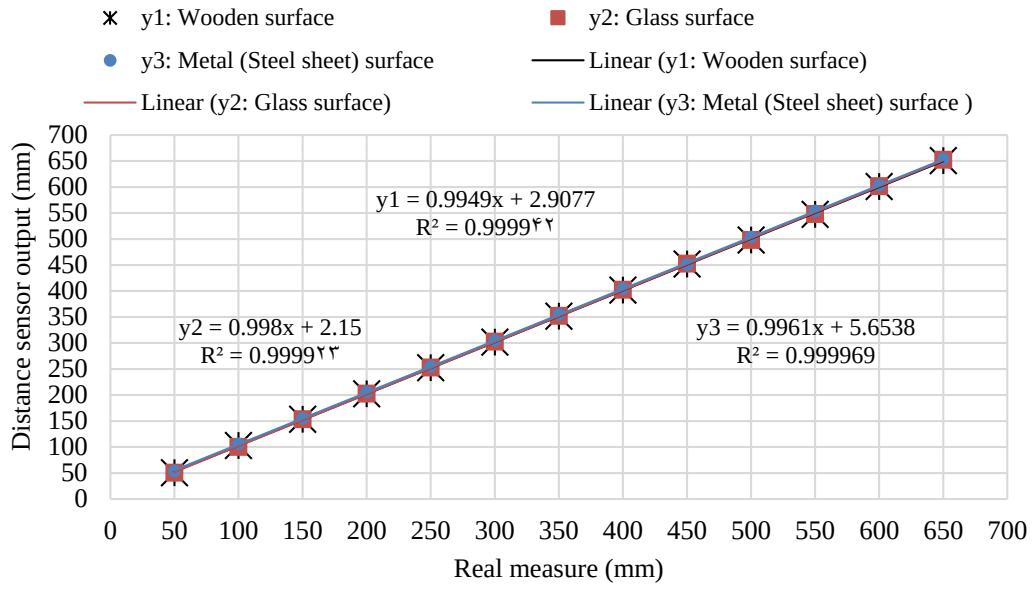

Figure 7. Laboratory calibration curve of the ultrasonic level meter system.

شکل ۷- نمودار واسنجی آزمایشگاهی سامانه‌ی سطح‌سنج اولتراسونیک.

۳-۲- نتایج ارزیابی استاتیکی

نمودار داده‌های لحظه‌ای حسگر و اندازه‌گیری واقعی در حالت استاتیکی برای سطح دو نوع مواد گرانوله‌ی گندم و کود پتاس در شکل ۸ نشان داده شده است. ضریب تعیین رابطه‌ی بین داده‌های حسگر و اندازه‌گیری واقعی برای دو سطح گندم و کود پتاس در حالت استاتیکی به ترتیب ۰/۹۸۲۳ و ۰/۹۷۷۴ به‌دست آمد. ضرایب تعیین بدست آمده بیان کننده دقت و حساسیت بالای حسگر در سنجش ارتفاع سطح مواد داخل مخزن می‌باشد.

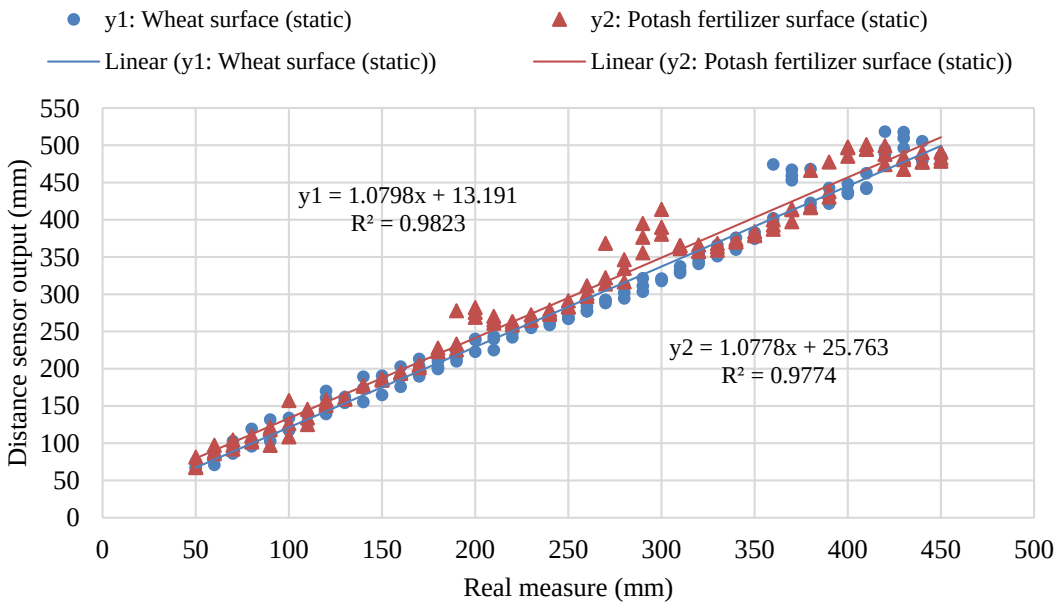

Figure 8. The relationship between actual measurement and the measurement of the ultrasonic level meter system in static state (Wheat and Potash fertilizer).

شکل ۸- رابطه بین اندازه‌گیری واقعی و اندازه‌گیری سامانه‌ی سطح‌سنج اولتراسونیک در حالت استاتیکی (گندم و کود پتاس).

۳-۳- نتایج ارزیابی دینامیکی

نمودار داده‌های لحظه‌ای حسگر و اندازه‌گیری واقعی در حالت دینامیکی برای سطح دو نوع مواد گرانوله‌ی گندم و کود پتاس در شکل ۹ ترسیم و مقایسه گردید. ضریب تعیین رابطه‌ی بین داده‌های حسگر و اندازه‌گیری واقعی برای دو سطح گندم و کود پتاس در حالت دینامیکی به ترتیب ۰/۹۷۷۷ و ۰/۹۷۳۶ به‌دست آمد. ضرایب تعیین بدست آمده بیان کننده دقت و حساسیت بالای حسگر در سنجش ارتفاع سطح مواد داخل مخزن در حالت دینامیکی می‌باشد.

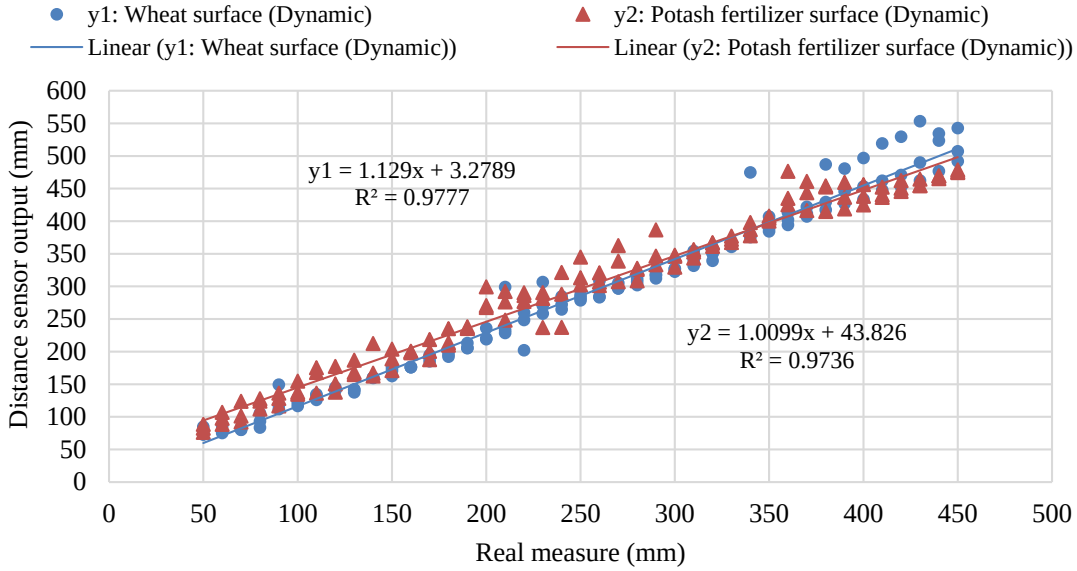

Figure 9. The relationship between actual measurement and the measurement of the ultrasonic level meter system in Dynamic state (Wheat and Potash fertilizer).

شکل ۹- رابطه بین اندازه‌گیری واقعی و اندازه‌گیری سامانه‌ی سطح‌سنج اولتراسونیک در حالت دینامیکی (گندم و کود پتاس).

۴- نتیجه‌گیری

در این پژوهش سامانه‌ی سطح‌سنج اولتراسونیک به منظور اندازه‌گیری ارتفاع سطح مواد داخل مخزن خطی‌کارها و کودکارها طراحی، نصب و ارزیابی شد. نتایج نشان داد که این سامانه دارای دقت و حساسیت بالا می‌باشد و با توجه به نتایج حاصله از ارزیابی‌های استاتیکی و دینامیکی این سامانه می‌تواند به عنوان یک روش قابل اتکا برای اندازه‌گیری ارتفاع سطح مواد دانه‌ای مخزن خطی‌کارها و کودکارها مورد استفاده قرار بگیرد. همچنین قابلیت اطمینان و دقت زیاد آن می‌تواند این سامانه را در اتوماتیک کردن کامل این قبیل اداوات ابزاری قابل اتکا و کاربردی معرفی نماید.

۵- مراجع

Bohn, D.A. (1988). Environmental effects on the speed of sound. *Convention of the Audio Engineering Society, 36*(4), 223-231.

Ghoodsi, M.R., & Ghoodsi, 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. (Persian)

Ghoodsi, M.R., & Hajipor, M.R. (2016). *The promotion of reliability of system with designed and installed transmitter SAPFIR-22M for measurement of reservoives level in various industries*, International Conference on Electrical Engineering, research organization of Baqir al-ulum. (Persian)

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.

Jahanshahi, R., & Fard, E. (2012). *Omega industrial instruments and controls* (First Edition ed): Publication Saha Danesh, 456. (Persian)

Jester, W., & Klik, A. 2005. Soil surface roughness measurement-methods, applicability, and surface representation. *Catena, 64*(2),

174-192.

Kielb, J.A., & Pulkrabek, M.O. (1999). *Application of a 25 GHz FMCW radar for industrial control and process level measurement*, IEEE Explorer Digital Library, Anaheim, CA, USA.

Koval, L., Vaňuš, J., & Bilík, P. (2016). Distance measuring by ultrasonic sensor. *IFAC-PapersOnLine, 49*(25), 153-158.

Licznerski, T. J., Jarośnski, J., & Kosz, D. (2011). Ultrasonic system for accurate distance measurement in the air. *Ultrasonics, 51*(8), 960-965.

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.

Malaeki, M.R., Ramon, H., Baerdemaeker, D.E., & Mouazen, A.M. (2008). A study on the time response of a soil sensor-based variable rate granular fertilizer applicator. *Biosystems Engineering, 100*(2), 160-166.

Robichau, P.R., & Molnau, M. (1990). Measuring soil roughness changes with an ultrasonic profiler. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers, 33*(6), 1851-1858.

Römkens, M.J.M., Singarayar, S., & Gantzer, C.J. (1986). An automated non-contact surface profile meter. *Soil and Tillage Research, 6*(3), 193-202.

Sawada, R., Kikuchi, J., Shibamura, E., Yamashita, M., & Yoshimura, T. (2003). Capacitive level meter for liquid rare gases. *Cryogenics, 43*(8), 449- 450.

Taconet, O., & Ciarletti, V. (2007). Estimating soil roughness indices on a ridge-and-furrow surface using stereo photogrammetry. *Soil and Tillage Research, 93*(1), 64-76.

Vogt, M. (2014). *An optimized float for reliable radar tank level measurement in bypass pipes*, IEEE Explorer Digital Library, Aachen, Germany.

یازدهمین کنگره ملی مهندسی مکانیک بیوسیستم (ماشین‌های کشاورزی) و مکانیزاسیون ایران