

توسعه سامانه الکترونیکی برای تشخیص موانع در جلوی تراکتور با استفاده از حسگر لیزری دوبعدی

علی محمدی^۱، حسن مسعودی^{۲*} و محمداسماعیل خراسانی فردوانی^۳

چکیده

حسگرهای لیزری دوبعدی جزء ثابت سامانه‌های هدایت خودکار وسایل نقلیه هستند که به منظور تشخیص موانع و تعیین مسیر استفاده می‌شوند؛ لیکن قیمت بسیار بالای این نوع حسگرها، تجاری‌سازی سامانه‌های هدایت خودکار را محدود کرده است. در این پژوهش سامانه تشخیص موانع در جلوی تراکتور به کمک یک حسگر لیزری دوبعدی ارزان قیمت ساخته و ارزیابی شد. حسگر لیزری دوبعدی RPLIDAR مدل AIM1 روی سپر تراکتور MF285 نصب گردید تا فضای جلوی تراکتور را پایش نماید و چنانچه مانعی در مسیر حرکت تشخیص داده شد، با ارسال داده‌های مربوط به مانع به میکروکنترلر، سامانه را از وجود مانع مطلع نموده و در نهایت تراکتور متوقف شود. دو نوع آزمایش برای ارزیابی سامانه اجرا گردید. در آزمایش اول تراکتور ساکن و در دو حالت موتور روشن و خاموش بود و مانع در زوایا و فواصل مختلف قرار داده شد تا عملکرد حسگر لیزری در شناسایی موانع و تأثیر ارتعاشات ناشی از روشن بودن موتور بررسی شود. در آزمایش دوم عملکرد سامانه در حالتی که تراکتور متحرک و مانع ثابت بود، با دو نوع مانع از جنس پلاستیک و MDF و در دو سرعت پیشروی ۳/۵ و ۶ کیلومتر در ساعت ارزیابی شد. در آزمایش اول (حالت توقف تراکتور) بیشترین و کمترین مقدار دقت حسگر لیزری در تشخیص موانع در فواصل صفر تا ۳۰۰ سانتی‌متر به ترتیب ۹۷/۷۳ و ۸۹/۵ درصد به دست آمد. همچنین تأثیر جنس مانع، فاصله و زاویه قرارگیری آن بر دقت حسگر لیزری معنی‌دار نبود. در آزمایش دوم (حالت حرکت تراکتور) جنس مانع و تأثیر متقابل جنس مانع و سرعت پیشروی تراکتور بر عملکرد سامانه در توقف تراکتور در سطح یک درصد معنی‌دار بودند. در مجموع، حسگر لیزری دوبعدی مورد استفاده در شرایط نور شدید عملکرد ضعیفی داشت و در اینگونه شرایط باید از تلفیق داده‌های حسگر لیزری با حسگرهای دیگر برای تشخیص بهتر موانع استفاده نمود.

واژه‌های کلیدی: تراکتور، حسگر لیزری دو بعدی، سامانه تشخیص مانع، هدایت خودکار.

ارجاع: محمدی ع، مسعودی ح، و خراسانی فردوانی م، ا. ۱۴۰۰. توسعه سامانه الکترونیکی برای تشخیص موانع در جلوی تراکتور با استفاده از حسگر لیزری دوبعدی. نشریه پژوهش‌های مکانیک ماشین‌های کشاورزی، ۱۹: ۴۵-۵۵.

۱- فارغ‌التحصیل کارشناسی ارشد گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز.

۲- استادیار گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز.

۳- استادیار گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز.

* نویسنده مسئول: hmasoudi@scu.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۶/۱۲ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۹/۲۷

مقدمه

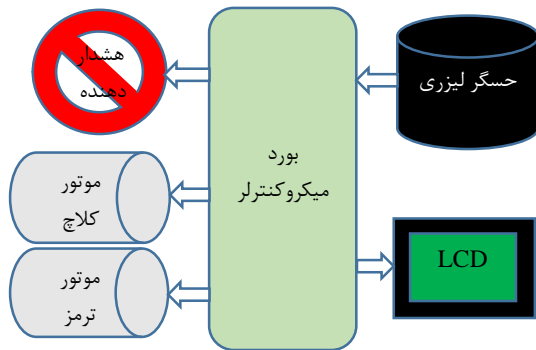
یکی از عوامل زمینه‌ساز افزایش کمیت و کیفیت محصولات کشاورزی، استفاده از ماشین‌های پیشرفته و خودکار است که اتکای کمتری به نیروی انسانی دارند و در نتیجه خطای انسانی نیز کمتر در آنها دخیل است. مطالعه در زمینه بهبود عملکرد ماشین‌های کشاورزی بوسیله ایجاد سامانه‌های کنترلی بر روی آنها در سال‌های اخیر با رشد چشمگیری همراه بوده است. یکی از موضوعات دارای اهمیت در این زمینه که در دهه اخیر بسیار مورد توجه قرار گرفته، ایجاد و گسترش ماشین‌های خودکار در مزرعه است (Ramezani *et al.*, 2017). نمونه‌هایی از ربات‌های متحرک برای کار در فضاهای کشاورزی ساخته شده و به‌صورت تجاری درآمده‌اند. سامانه‌های خودکار کمک راننده نیز به‌صورت تجاری تولید شده و سامانه‌های هدایت خودکار بدون راننده در مرحله تجاری‌سازی هستند. لذا در آینده‌ای نزدیک این ماشین‌های خودکار بدون راننده جایگزین ماشین‌های با راننده فعلی خواهند شد. اجزاء اصلی سامانه هدایت خودکار در یک وسیله‌نقلیه کشاورزی شامل حسگرهای ناوبری، الگوی ناوبری، مدل حرکت وسیله و کنترل‌کننده‌های فرمانگیری است. سامانه‌های مختلف شامل انواع حسگرهای مکانیکی، GPS، بینایی ماشین، لیزری و فراصوتی، اطلاعاتی در مورد جهت و موقعیت وسیله نقلیه را برای اعمال به الگوریتم ناوبری ارائه می‌دهند (Seidi, 2004).

یکی از نیازهای اساسی در وسایل نقلیه خودکار، سامانه تشخیص موانع پیش روی ماشین در هنگام حرکت است. توانایی تشخیص موانع باعث جلوگیری از برخورد با مانع، کاهش آسیب‌های احتمالی در مواجهه با انسان و یا دام‌ها و جلوگیری از تصادف و آسیب به ماشین می‌گردد. بررسی مطالعات مختلف درباره وسایل نقلیه خودکار یا ربات‌ها نشان می‌دهد که فقط پنج تا شش نوع مختلف از حسگرهای تشخیص مانع مؤثر وجود دارند. هر یک از حسگرها مزایا و معایب خاص خود را دارند. این حسگرها به تشخیص مانع محدود نمی‌شوند، برخی برای مکان‌یابی وسیله نقلیه و تهیه نقشه عوارض زمین نیز استفاده می‌شوند. می‌توان گفت اگر یک حسگر جهت تهیه نقشه‌های دقیق از محیط اطراف وسیله‌نقلیه به‌طور مؤثر استفاده شود، آنگاه می‌تواند جهت تشخیص موانع در یک

محیط نیز بکار رود (Masoudi, 2010). لیزرهای اسکن‌کننده جهت تشخیص مانع استفاده می‌شوند تا به هدایت ایمن وسایل نقلیه خودکار کمک کنند. لیزرهای اسکن‌کننده برای فاصله‌های گوناگون با محدودیت‌های خیلی کمتر در مقایسه با بینایی ماشین نتایج بهتری می‌دهند. همچنین به‌طور قابل ملاحظه‌ای تفکیک‌پذیری، فاصله اندازه‌گیری و دقت‌شان بهتر از حسگرهای فراصوتی است (Gray, 2000). با توجه به محدودیت‌های سامانه‌های بینایی‌ماشین دارای دوربین‌های تصویربرداری دیجیتال برای تشخیص موانع مانند تأثیرپذیری از نور محیط و شرایط آب و هوایی مختلف، نیاز به دوربین‌های خاص در شب و غیره، استفاده از حسگرهای لیزری می‌تواند جایگزین مناسبی برای تشخیص موانع در جلوی وسایل نقلیه باشد. لیزرهای اسکن‌کننده از یک پرتو لیزری استفاده می‌کنند که از روی یک آینه گردان به بیرون و به سوی هدف منعکس می‌شود و سپس برای محاسبه فاصله به حسگر برمی‌گردد. بر روی اسکنر یک آشکارساز نوری نصب شده که قادر است فوتون‌های برگشتی لیزر را دریافت کند. هنگامی که اولین فوتون‌های لیزر به آشکار ساز می‌رسد، با داشتن زمان رفت و برگشت پرتو لیزر تا شیء مورد نظر، به راحتی می‌توان فاصله شیء تا حسگر لیزری را محاسبه نمود (Gray, 2000).

بسیاری از پژوهش‌ها که بر روی وسایل نقلیه خودکار در فضای بیرون اجرا می‌شوند، برای تشخیص موانع بجای دید استریو از لیزرهای اسکن‌کننده استفاده می‌کنند. در پژوهشی، Chateau *et al.* (2000) از یک سامانه لیزری دو بعدی، برای نصب بر روی کمباین استفاده کردند که در آن از یک پرتو لیزر قرمز جهت سنجش مسافت استفاده می‌شد. در پژوهشی دیگر، Noguchi & Barawid (2011) یک اسکنر لیزری دوبعدی را در جلوی تراکتور کشاورزی نصب نمودند، این اسکنر لیزری می‌توانست فاصله و زاویه اشیاء را در جلوی تراکتور تعیین کند. سیستم Zhang, Yang, & Zhang (2013) بر روی یک تراکتور خودکار با هدایت و رانش توسط انسان تمرکز داشت. دوربین‌هایی با هدف اطمینان از ایمنی در اطراف این تراکتور نصب شد که تصاویر را به‌صورت بی‌سیم جهت احاطه و کنترل بهتر تراکتور برای پردازنده تصاویر ارسال می‌نمود. نتایج استفاده از این سیستم، اجرای بهتر عملیات زراعی نسبت به یک کشاورز با تجربه بود که با روش سنتی و قدیمی

بیش از حد تراکتور به مانع، عملگرها (ترمز و کلاچ) را فعال می‌کند.



شکل ۱- اجزاء سامانه تشخیص مانع با حسگر لیزری

حسگر لیزری دو بعدی

حسگر لیزری مورد استفاده با نام تجاری RPLIDAR مدل AIM1 یک حسگر دوبعدی با زاویه اسکن ۳۶۰ درجه بود. مطابق شکل ۲- الف شیوه کار حسگر برپایه روش مثلثی بوده و قادر است داده‌ها را بیش از ۲۰۰۰ بار در ثانیه و با دقت بالا در خروجی ارسال کند (میزان خطا کمتر از یک درصد فاصله است). حداکثر فاصله قابل اندازه‌گیری و اسکن توسط این حسگر ۶ متر است. فرکانس کاری آن ۵/۵ هرتز بوده و قادر است تا در هر دور گردش ۳۶۰ نقطه را پایش کند. این دستگاه شامل یک واحد اسکنر و یک موتور است. جهت گردش حسگر ساعت‌گرد بوده و می‌توان از طریق رابط USB داده‌ها را از آن دریافت نمود (Anonymous, 2019).

محل نصب حسگر لیزری روی سپر جلوی تراکتور MF285 و در ارتفاع ۷۵ سانتی‌متری از سطح زمین در نظر گرفته شد (شکل ۲- ب). حسگر لیزری همزمان با پایش مسیر پیشروی تراکتور، اطلاعات مربوط به اشیاء موجود در مسیر حرکت را به میکروکنترلر ارسال می‌کند. این اطلاعات شامل زاویه و فاصله (به ترتیب θ و d در شکل ۲- الف) موانعی است که در محدوده قابل تشخیص سامانه هستند. اطلاعات فوق پس از ارسال به میکروکنترلر مورد پردازش قرار گرفته و تصمیمات لازم در مورد آنها اتخاذ می‌شود. زاویه پایش حسگر لیزری در این پژوهش به ۶۰ درجه تقلیل یافت تا تنها بر مسیر حرکت تمرکز نموده و از ارسال داده‌های اضافی جلوگیری شود و در نتیجه زمان پردازش داده‌های ارسالی در میکروکنترلر کاهش یابد.

زراعت را انجام می‌داد. در یک بررسی، Markom *et al.* (2015) از یک حسگر لیزری دو بعدی ارزان قیمت برای نقشه‌برداری از محیط داخلی یک آزمایشگاه توسط ربات سیار استفاده نمودند. داده‌های جمع‌آوری شده با استفاده از سه روش پیش‌پردازش فیلتر خام، میانگین متحرک فیلتر صاف و ترکیب فیلتر خام و میانگین متحرک مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت که ترکیب فیلتر خام و میانگین متحرک بهترین نتیجه را داشت. صحت پردازش سامانه توسعه یافته بیش از ۹۰ درصد به دست آمد. در طرح (Thanpattranon *et al.* (2016) از یک لیزر مسافت یاب که جلوی تراکتور و در ارتفاع ۳۵۰ میلی‌متری از سطح زمین نصب شده بود، استفاده نمودند. هدف از نصب این سامانه لیزری پایش مسیر حرکت تراکتور و تشخیص موانع در جلوی آن بود. برای بررسی و تشخیص وجود انسان در مسیر حرکت تراکتور (Ramezani *et al.* (2016) از یک دوربین CMOS استفاده نمودند. با پردازش تصاویر اخذ شده در نرم افزار MATLAB طی پنج مرحله (دسته- بندی، قطعه‌بندی، تکنیک واترشد، آستانه‌گیری و تفریق تصویر از پس‌زمینه) به پایش مسیر حرکت و در نهایت وجود یا عدم وجود انسان در جلوی تراکتور پی برده شد. یکی از چالش‌های اصلی استفاده از حسگرهای لیزری دوبعدی تجاری باکیفیت در سامانه‌های تشخیص مانع و هدایت خودکار قیمت خیلی بالای آنها است. کاهش قیمت این سامانه‌ها با تولید و بکارگیری حسگرها و تجهیزات ارزان قیمت امکان‌پذیر است. لیکن حسگرهای ارزان قیمت موجود در بازار دقت خیلی زیادی ندارند و باید با روش‌های مختلف دقت آنها را افزایش داد. لذا توسعه سامانه الکترونیکی برای تشخیص موانع در جلوی تراکتور با استفاده از یک حسگر لیزری دوبعدی ارزان قیمت در این پژوهش مدنظر قرار گرفت. هشدار به راننده تراکتور در صورت نزدیک شدن به موانع به‌صورت شنیداری و توقف خودکار تراکتور در صورت نزدیک شدن بیش از حد به مانع از قابلیت‌های این سامانه است.

مواد و روش‌ها

مطابق شکل ۱ اجزاء اصلی تشکیل‌دهنده این سامانه شامل سه بخش حسگر لیزری، عملگرها و میکروکنترلر است. میکروکنترلر در صورت تشخیص مانع توسط حسگر لیزری، سیستم هشداردهنده صوتی و در صورت نزدیکی



(ب)



(الف)

شکل ۲- الف) اساس کار حسگر لیزری RPLIDAR و ب) محل نصب آن در جلوی تراکتور

برق ۱۲ ولتی به ۵ ولتی جهت تأمین تغذیه ماژول رله دوکاناله درون جعبه قرار گرفت. ماژول رله دو کاناله توسط برد آردوینو تحریک شده که از آن برای فعال نمودن رله‌های اصلی در هنگام ترمزگیری استفاده می‌شود.

عملگرهای الکتریکی

میکروکنترلر، فاصله و زاویه موانع در جلوی تراکتور را از روی داده‌های ارسالی حسگر لیزری دوبعدی به کمک برنامه رایانه‌ای نوشته شده تعیین می‌کند و هرگاه فاصله مانع تا تراکتور در محدوده خطر (که از پیش تعریف شده) باشد، با تحریک رله‌ها اقدام به فعال نمودن موتورهای الکتریکی می‌کند. دو موتور الکتریکی ۱۲ ولتی ۳۰ وات (شکل ۴- الف)، یکی برای پدال کلاچ و دیگری برای پدال ترمز در زیر رکاب طرفین تراکتور نصب گردید و از طریق باتری تراکتور تغذیه شدند. انتقال نیرو در موتورها یک‌طرفه بوده به‌طوری‌که نیرو تنها از جانب موتور می‌تواند موجب چرخش قرقره مربوطه شود و نیروی پدال‌ها قادر به چرخاندن موتور نیست. هر یک از موتورها بر روی یک شاسی فلزی نصب و جهت حفاظت بیشتر در برابر ضربه و آلاینده‌هایی نظیر گرد و غبار، آب و گل، درون محفظه‌ای پلاستیکی قرار داده شدند. شماتیک نحوه عملکرد موتورهای الکتریکی در شکل ۴- ب و مدار الکترونیکی سامانه تشخیص مانع با حسگر لیزری و راه‌انداز موتورهای الکتریکی در شکل ۵ آمده است.

برد میکروکنترلر

واحد کنترل سامانه شامل آردوینو مدل MEGA2560 به همراه ماژول مبدل ولتاژ DC-DC LM2596 است. کلیه اجزاء بر روی یک برد سوراخ‌دار نصب شدند (شکل ۳- الف). برنامه رایانه‌ای مورد نیاز برای سامانه در محیط نرم‌افزار آردوینو (Arduino IDE) نوشته شد و پس از کامپایل، داخل حافظه یورد ریخته شد. میکروکنترلر با دریافت داده‌های ارسالی از جانب حسگر لیزری قادر به تشخیص موانع پیش روی تراکتور بوده و در صورت تشخیص مانع در محدوده تعیین شده (۳۰۰۰ میلی‌متر) اقدام به روشن نمودن یک LED نموده و به‌طور همزمان حسگر از چرخش ایستاده و جهت متوقف کردن تراکتور، رله‌های جهت پایین (رله‌های A و B در شکل ۳- ب که برای توقف تراکتور هستند) را فعال می‌کند که با این اقدام موتورهای الکتریکی به‌کار افتاده و پدال‌های کلاچ و ترمز را پایین می‌کشند. از ماژول مبدل ولتاژ برای تبدیل ولتاژ ۱۲ ولت باتری به ۷ ولت برای تغذیه برد آردوینو و موتور حسگر لیزری استفاده شد. با استفاده از این ماژول می‌توان توسط یک مولتی‌ترن که بر روی ماژول وجود دارد، ولتاژ خروجی ایده‌آل را تنظیم نمود. مواقعی که ولتاژی غیر از ولتاژهای استاندارد موردنیاز است یا ولتاژ منبع تغذیه بیشتر از ولتاژ موردنیاز است، از این مبدل می‌توان استفاده کرد. ولتاژ ۵ ولت موردنیاز واحد لیزر نیز از برد آردوینو تأمین شد. برای راه‌اندازی موتورها از چهار عدد رله ۱۲ ولت، ۳۰ آمپر ساعتی استفاده شد. رله‌ها بر روی یک برد سوراخ‌دار نصب و سپس درون یک جعبه پلاستیکی قرار گرفتند (شکل ۳- ب). علاوه بر رله‌ها یک ماژول تبدیل

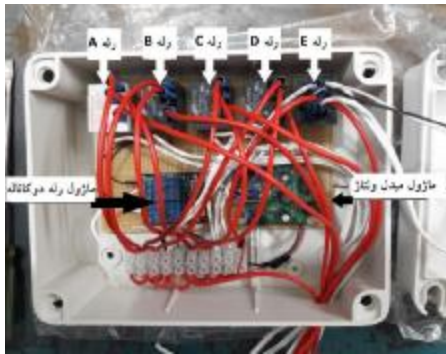
ارزیابی سامانه

برای ارزیابی سامانه تشخیص مانع در جلوی تراکتور با حسگر لیزری دوبعدی دو آزمون، در چند روز و در شرایط نوری مختلف از صبح تا غروب، به شرح ذیل اجرا گردید.

آزمون اول: ارزیابی عملکرد حسگر لیزری دوبعدی

هدف این آزمون تعیین برد واقعی حسگر در فضای آزاد و دقت حسگر در تشخیص موانع در زوایا و فواصل مختلف بود. مطابق برگه اطلاعات حسگر لیزری، حداکثر فاصله قابل اندازه‌گیری توسط حسگر لیزری ۶ متر ذکر شده است، لیکن در ارزیابی اولیه مشخص شد که این نوع

حسگر در فضای باز با نور زیاد قادر به تشخیص موانع در فواصل بیشتر از ۳۲۰ سانتی‌متر نیست. مطابق شکل ۶ تراکتور بدون حرکت و بر روی سطحی صاف و مانع (انسان ایستاده، بی‌حرکت و با لباس معمولی) نیز در حالت سکون و در زوایا و فواصل مختلف (سه فاصله طولی ۱، ۲ و ۳ متر و چهار زاویه ۰، ۲۰، ۴۰ و ۶۰ درجه) قرار گرفت. برای بررسی تأثیر ارتعاشات تراکتور بر عملکرد حسگر لیزری، آزمایش در دو وضعیت موتور روشن و خاموش تراکتور و در سه تکرار انجام شد. تجزیه و تحلیل نتایج آزمون به صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی و با کمک نرم‌افزار SPSS صورت گرفت.

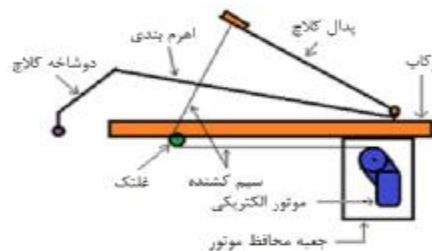


(ب)



(الف)

شکل ۳- الف) برد میکروکنترلر و ب) و برد رله‌ها برای راه‌اندازی موتورهای الکتریکی



(ب)



(الف)

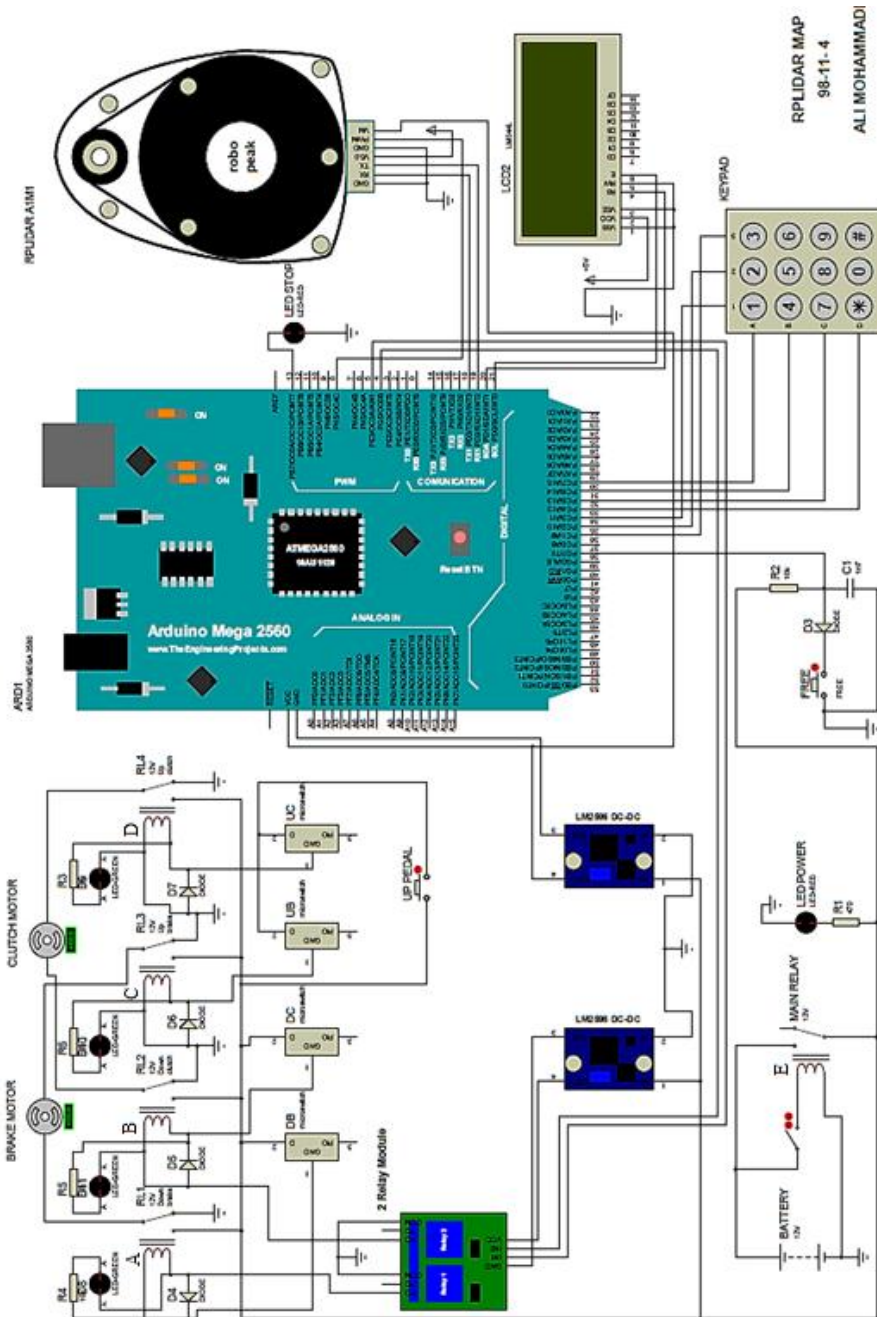
شکل ۴- الف) موتور الکتریکی مورد استفاده برای پایین آوردن پدال‌ها و ب) مکانیزم عملکرد خودکار ترمز و کلاچ

کیلومتر در ساعت) و با دو نوع مانع (شامل تخته MDF و سطل پلاستیکی) و در پنج تکرار انجام شد. تجزیه و تحلیل نتایج به دست آمده به صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی و با کمک نرم‌افزارهای Excel و SPSS صورت گرفت.

آزمون دوم: ارزیابی عملکرد سامانه در تشخیص

مانع و توقف تراکتور

هدف از این آزمون تعیین دقت تشخیص موانع توسط حسگر در هنگام حرکت تراکتور و همچنین دقت توقف تراکتور توسط سامانه در هنگام مواجهه با موانع بود (شکل ۷). آزمایش‌ها در دو سرعت پیشروی (۳/۵ و ۶



شکل ۵- مدار الکترونیکی سامانه تشخیص مانع با حسگر لیزری دوبعدی



شکل ۷- آزمون ارزیابی عملکرد سامانه در تشخیص مانع و توقف تراکتور



شکل ۶- آزمون ارزیابی عملکرد حسگر لیزری در تشخیص موانع در حالت توقف تراکتور

نتایج و بحث

نتایج ارزیابی عملکرد حسگر لیزری در تشخیص مانع

دقت حسگر لیزری در تشخیص فاصله تا موانع در حالت توقف تراکتور و در دو وضعیت موتور خاموش و موتور روشن در شکل ۸ آمده است. در وضعیت موتور خاموش بیشترین میزان دقت حسگر برابر با ۹۷/۷۳ درصد، کمترین مقدار آن برابر ۸۹/۵ درصد و میانگین آن برابر ۹۴/۳۲ درصد و در وضعیت موتور روشن بیشترین میزان دقت حسگر برابر با ۹۶/۹۷ درصد، کمترین مقدار آن برابر ۹۳/۹۷ درصد و میانگین آن برابر ۹۵/۸۴ درصد حاصل شد. مشاهده می‌شود که دقت حسگر در تشخیص موانع در زوایا و فواصل مختلف یکسان نیست و تفاوت اندکی با یکدیگر دارند. دلیل آن می‌تواند عرض موانعی باشد که در مقابل تراکتور قرار داده شدند. هر مانع در یک راستا ولی در فواصل مختلف، زوایای متفاوتی را در جلوی حسگر پوشش می‌دهد، لذا زاویه استخراج شده برای جسم در یک راستا ولی در فواصل مختلف، به دلیل میانگین‌گیری از مقادیر فواصل خوانده شده از حسگر یکسان نیست، که نهایتاً روی دقت تشخیص زاویه و فاصله توسط حسگر لیزری تأثیر می‌گذارد. به عنوان نمونه در فاصله ۱ متر و زاویه ۲۰ درجه مانعی که قرار داده شد، با توجه به عرض آن در بازه‌های از زاویه ۱۲ تا ۲۷ درجه قرار می‌گرفت.

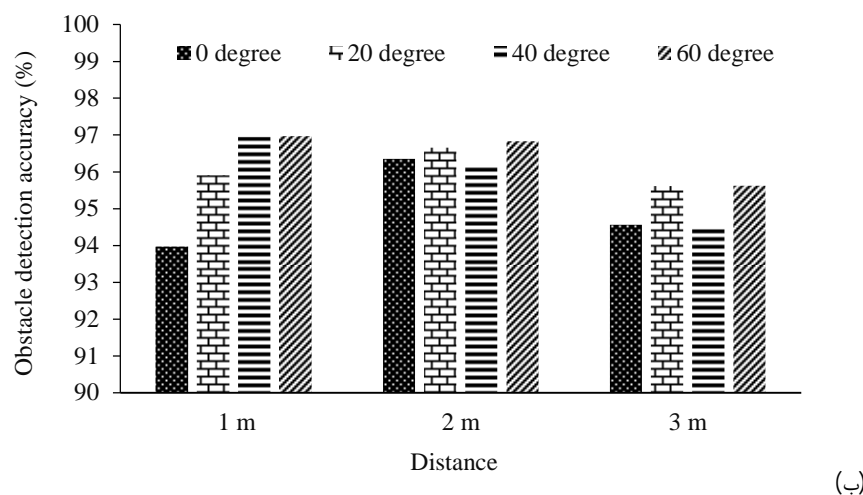
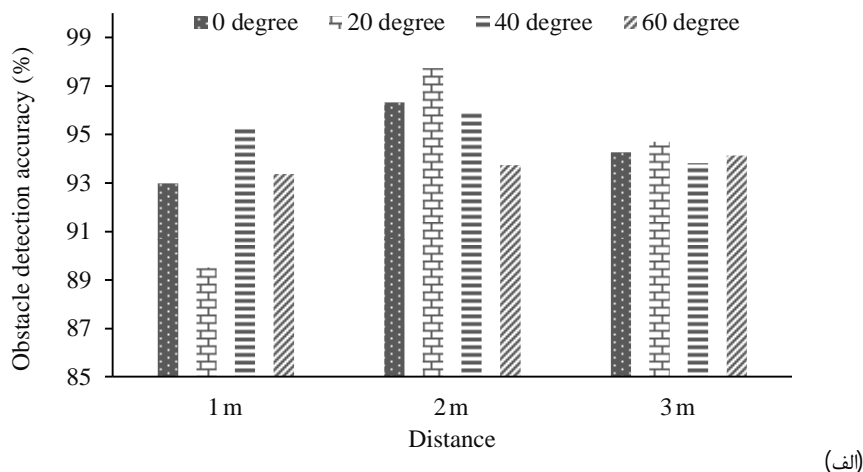
بنابراین حسگر موانعی را در این بازه از زاویه تشخیص می‌داد که میانگین آن استخراج و ملاک دقت برای زاویه ۲۰ درجه قرار گرفت. از دیگر علل اختلاف اندک در داده‌ها می‌توان به خطای احتمالی در خط‌کشی و اندازه‌گیری خطوط رسم شده در مقابل تراکتور جهت انجام آزمایش اشاره نمود. همچنین تفاوت شدت نور محیط در حین آزمایشات (به دلیل نیمه ابری بودن هوا) در بروز خطا مؤثر بوده است. با توجه به اینکه میانگین دقت حسگر در دو وضعیت موتور خاموش و موتور روشن حدود ۹۵/۰۷ درصد است، لذا حسگر لیزری مورد استفاده می‌تواند برای تشخیص موانع در فاصله‌های کمتر از ۳۰۰ سانتی‌متر بکار گرفته شود.

نتایج تجزیه واریانس داده‌های مربوط به دقت حسگر لیزری در تشخیص مانع در جلوی تراکتور در حالت سکون در جدول ۱ آمده است. تأثیر عوامل فاصله مانع تا حسگر، زاویه قرارگیری مانع و وضعیت موتور تراکتور (روشن یا خاموش بودن) بر عملکرد حسگر لیزری در سطح یک درصد معنی‌دار نبود. همچنین تأثیر متقابل هر سه عامل بر عملکرد حسگر لیزری و اثر متقابل آنها نیز معنی‌دار نبوده است. با توجه به نتایج به دست آمده در این آزمون، ارزیابی عملکرد سامانه تشخیص مانع در حالت حرکت تراکتور با موانع غیرانسانی و فقط در موقعیت قرارگیری موانع در راستای حرکت تراکتور انجام شد.

جدول ۱- تجزیه واریانس تأثیر وضعیت موتور تراکتور، فاصله و زاویه مانع بر دقت تشخیص حسگر لیزری دوبعدی

منابع تغییرات	درجه آزادی	مجموع مربعات	میانگین مربعات	F	P
بلوک	۲	۱۶/۴۰	۸/۲۰	۰/۶۴	۰/۵۳۱ ^{ns}
وضعیت موتور تراکتور	۱	۲۸/۹۹	۲۸/۹۹	۲/۲۷	۰/۱۳۹ ^{ns}
زاویه قرارگیری مانع	۳	۸/۶۳	۲/۸۸	۰/۲۳	۰/۱۷۸ ^{ns}
فاصله مانع	۲	۳۶/۶۷	۱۸/۳۴	۱/۴۳	۰/۲۴۹ ^{ns}
وضعیت×زاویه	۳	۷/۷۰	۲/۵۷	۰/۲۰	۰/۱۸۹۵ ^{ns}
وضعیت×فاصله	۲	۱۳/۷۶	۶/۸۸	۰/۵۴	۰/۵۸۸ ^{ns}
فاصله×زاویه	۶	۷۱/۴۵	۱۱/۹۱	۰/۹۳	۰/۴۸۲ ^{ns}
وضعیت×زاویه×فاصله	۶	۳۸/۰۶	۶/۳۴	۰/۵۰	۰/۸۰۸ ^{ns}
خطا	۴۶	۵۸۸/۱۴	۱۲/۷۹		
کل	۷۱	۸۰۹/۸۱			

ns: عدم وجود اختلاف معنی‌دار

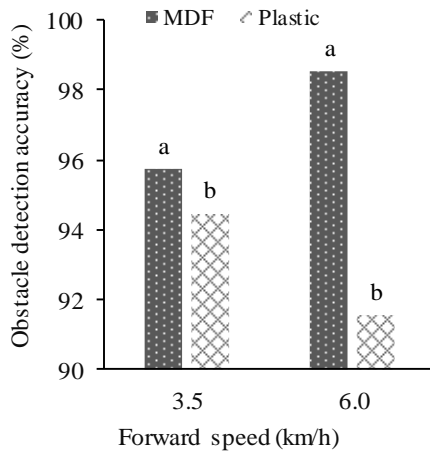


شکل ۸- دقت حسگر لیزری در تشخیص موانع در وضعیت الف) خاموش بودن و ب) روشن بودن موتور تراکتور

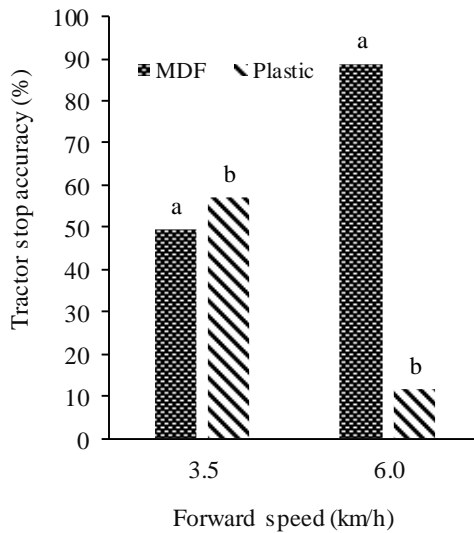
نوری مشابه هر دو مانع بررسی می‌شد. همچنین نتایج به دست آمده در پژوهش (Markom et al (2015) که از این حسگر بر روی یک ربات سیار برای نقشه‌برداری از فضای داخلی یک آزمایشگاه استفاده شد، نشان داده است که این حسگر در فضای بسته و سرپوشیده با دقت بالای ۹۰ درصد قابل اطمینان بوده و در هنگام حرکت جهت تشخیص موانع و اشیاء پیرامون با اندکی خطا روبرو می‌شود. بر اساس نتایج به دست آمده از این دو پژوهش می‌توان گفت حسگر لیزری دوبعدی مورد استفاده در این پژوهش در فضاهای سرپوشیده (مانند گلخانه ها و انبارها) و در فضاهای باز با نور ملایم کارایی بهتری دارد و در شرایط نوری با آفتاب شدید باید از تلفیق داده‌های این حسگر با حسگرهای دیگر جهت تشخیص موانع استفاده نمود.

نتایج ارزیابی عملکرد سامانه در تشخیص مانع و توقف تراکتور

با توجه به شکل ۹-الف دقت حسگر لیزری در تشخیص مانع در سرعت ۳/۵ کیلومتر بر ساعت برای موانع MDF و پلاستیک تقریباً مشابه هم بوده است، اما در سرعت ۶ کیلومتر بر ساعت عملکرد حسگر در تشخیص مانع MDF بهتر از مانع پلاستیکی بوده است. علت این مسئله می‌تواند به زمان انجام آزمایش مرتبط باشد. در هنگام انجام آزمایش بر روی مانع پلاستیکی نور محیط اندکی بیشتر از زمانی بود که آزمایشات با مانع MDF انجام شد. از آنجائیکه در آزمایشات عملی مشخص شد که حسگر لیزری دوبعدی مورد استفاده در نور زیاد عملکرد قابل قبولی ندارد، لذا پایین بودن دقت شناسایی مانع پلاستیکی قابل توجیه است. بهتر آن بود که در شرایط



(الف)



(ب)

شکل ۹- الف) میزان دقت حسگر لیزری در تشخیص مانع و
ب) میزان دقت سامانه در توقف تراکتور

همچنین مطابق شکل ۹- ب دقت سامانه در توقف تراکتور در سرعت ۳/۵ کیلومتر بر ساعت برای موانع MDF و پلاستیک به دلیل شناسایی یکسان موانع توسط حسگر در این سرعت پیشروی، تقریباً مشابه هم بوده است؛ اما در سرعت ۶ کیلومتر بر ساعت عملکرد سامانه در توقف تراکتور در حین مشاهده مانع MDF بهتر از مانع پلاستیکی بوده است و دلیل آن دقت بالاتر حسگر در تشخیص مانع در این سرعت پیشروی است. لذا در مجموع سامانه ساخته شده در سرعت پیشروی بالاتر عملکرد بهتری داشته است. به نظر می‌رسد با افزایش سرعت پیشروی تراکتور، حسگر لیزری سیگنال‌های ارسالی را زودتر و با شدت بیشتر دریافت می‌کند، لذا دقت شناسایی موانع افزایش می‌یابد.

نتایج تجزیه و تحلیل واریانس دقت حسگر لیزری در تشخیص مانع در حین حرکت تراکتور در جدول ۲ آمده است. مشاهده می‌شود که جنس مانع بر عملکرد حسگر لیزری تأثیر معنی‌داری در سطح ۵ درصد دارد، اما سرعت پیشروی تراکتور تأثیر معنی‌داری بر عملکرد حسگر لیزری در سطح ۵ درصد ندارد. دلیل آن می‌تواند کیفیت سطح و رنگ سطل پلاستیکی که سطحی غیرشفاف و به رنگ سبز بود، نسبت به تخته MDF که سطحی صیقلی و رنگ سفید داشت، باشد. در برگه اطلاعات حسگر نیز عملکرد بهینه برای سطوح با رنگ سفید ذکر شده است. انعکاس نور بسیار به رنگ و کیفیت سطح وابسته است و عملکرد حسگر لیزری هم که بر اساس انعکاس نور کار می‌کند، متأثر از آن خواهد بود. وقتی که نور به سطح جسمی ناصاف تابیده شود، در زوایای مختلفی بازتاب یا به عبارتی پخش می‌شود. اگر سطح مانع صیقلی باشد (مانند تخته MDF مورد استفاده در این آزمون)، شاهد پخش کمتر و بازتاب بهتر پرتو لیزر خواهیم بود، که باعث افزایش دقت شناسایی موانع می‌گردد.

جدول ۲- تجزیه واریانس تأثیر عوامل جنس مانع و سرعت پیشروی تراکتور بر دقت حسگر

P	F	میانگین مربعات	مجموع مربعات	درجه آزادی	منابع تغییرات
۰/۰۴۸۹*	۴/۵۴۲۶	۸۵/۱۴۶۸	۸۵/۱۴۶۸	۱	جنس مانع
۰/۹۷۲ ^{ns}	۰/۰۰۱۸	۰/۰۲۲۲۲	۰/۰۲۲۲۲	۱	سرعت پیشروی
۰/۱۵۸ ^{ns}	۲/۱۹۲۰	۴۱/۰۸۸	۴۱/۰۸۸	۱	جنس×سرعت
		۱۸/۷۴۴۰۸	۲۹۹/۹۰۵۳	۱۶	خطا
			۴۲۶/۱۶۳۳	۱۹	کل

ns: عدم وجود اختلاف معنی‌دار

* اختلاف معنی‌دار در سطح اطمینان ۵%

زیاد بین دو سرعت مورد استفاده در آزمایش‌ها باشد. زیرا با توجه به برد پایین حسگر عملاً امکان انجام آزمایش با سرعت پیشروی بیشتر مقدور نبود و ناگزیر دو سرعت ۳/۵ و ۶ کیلومتر بر ساعت انتخاب شدند. لذا در سرعت‌های بالاتر باید از حسگرهای کمکی دیگر در کنار این حسگر استفاده نمود.

نتایج تجزیه واریانس دقت سامانه در تشخیص موانع در جلوی تراکتور در حالت حرکت در جدول ۳ آمده است. مشاهده می‌شود که عامل جنس مانع و تأثیر متقابل جنس مانع و سرعت پیشروی در عملکرد سامانه در سطح یک درصد معنی‌دار است. عامل سرعت پیشروی تراکتور تأثیر معنی‌داری بر عملکرد سامانه در سطح ۵ درصد نداشته است. دلیل آن می‌تواند بخاطر اختلاف نه چندان

جدول ۳- تجزیه واریانس تأثیر عوامل جنس مانع و سرعت پیشروی تراکتور بر دقت سامانه

P	F	میانگین مربعات	مجموع مربعات	درجه آزادی	منابع تغییرات
.۰۰**	۱۹۱/۲۶۴۶	۶۰۶۶/۸۰۵۵	۶۰۶۶/۸۰۶	۱	جنس مانع
.۰۲۵ ^{ns}	۱/۴۵۰۳۹	۴۶/۰۰۵۵	۴۶/۰۰۵۵	۱	سرعت پیشروی
.۰۰**	۲۸۲/۰۴۹۴	۸۹۴۶/۴۵	۸۹۴۶/۴۵	۱	جنس×سرعت
		۳۱/۷۱۹۴	۵۰۷/۵۱۱۱	۱۶	خطا
			۱۵۵۶۶/۷۷	۱۹	کل

** اختلاف معنی‌دار در سطح اطمینان ۱٪ ns: عدم وجود اختلاف معنی‌دار

نتیجه‌گیری

در این پژوهش سامانه تشخیص مانع با استفاده از حسگر لیزری دوبعدی ارزان قیمت ساخته و ارزیابی شد. برخلاف فاصله ذکر شده برای حسگر لیزری دوبعدی در برگه اطلاعات شرکت سازنده (۶ متر)، حسگر در فضای باز عملکرد ضعیفی داشت و برد آن در حدود ۳/۲ متر بود. دقت حسگر لیزری در شناسایی موانع در این محدوده قابل قبول بود. ارتعاشات ناشی از کارکرد موتور تراکتور تأثیری در عملکرد حسگر نداشت. حسگر لیزری مورد استفاده به شدت نور محیط حساس بوده و با تغییر میزان نور محیط دقت آن تغییر می‌کرد که باید در پژوهش‌های بعدی مدنظر قرار گیرد. همچنین در فضای آزاد عملکرد مسافتی زیادی ندارد، لذا پیشنهاد می‌شود در سامانه تشخیص مانع نهایی از ترکیب داده‌های حسگر لیزری با حسگرهای دیگر جهت جبران ضعف عملکرد آن در نور شدید استفاده شود. دقت سامانه در توقف تراکتور در سرعت‌های پایین قابل قبول و بیانگر کارایی خوب مکانیزم عملگرهاست. لیکن عملکرد سامانه در سرعت‌های پیشروی بالاتر باید ارزیابی شود. همچنین با توجه به حجم زیاد داده‌های ارسالی در این نوع حسگرها پیشنهاد می‌شود برای بالابردن سرعت پردازش داده‌ها و افزایش سرعت پاسخ سامانه از یک پردازنده قوی‌تر و سریع‌تر استفاده شود.

سپاس‌گزاری

نویسندگان مقاله از معاونت محترم پژوهش و فناوری دانشگاه شهید چمران اهواز بابت حمایت مالی از این پژوهش در قالب اعتبار ویژه پژوهشی به شماره ۹۷/۳/۰۲/۲۶۲۴۷ قدردانی می‌نمایند.

منابع

1. Anonymous. (2019). *RPLIDAR-A1 360° Laser Range Scanner*. Retrieved from: <https://www.slamtec.com/en/Lidar/A1>. Accessed in: 26 September 2019.
2. Chateau, T., Debain, C., Collange, F., Trassoudaine, L., & Alizon, J. (2000). Automatic guidance of agricultural vehicles using a laser sensor. *Computers and Electronics in Agriculture*, 28: 243–257.
3. Gray, K.W. (2000). *Obstacle detection and avoidance for an autonomous farm tractor*. Master's thesis, Utah State University, Logan, Utah, USA. Retrieved from <https://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.449.879&rep=rep1&type=pdf>. Accessed in: 12 May 2008.
4. Markom, M., Adom, A., Tan, E., Shukor, S., Rahim, N.A., & Shakaff, A. Y. (2015). A mapping mobile robot using RP Lidar scanner. *IEEE International Symposium on Robotics and Intelligent Sensors (IRIS)*. Langkawi, Malaysia.
5. Masoudi, H. (2010). *Design and implementation of an automatic guidance system on a small vehicle for greenhouse spraying*. Doctoral dissertation, University

- of Tehran, Karaj, Iran. 157 pages. Retrieved from
<https://thesis2.ut.ac.ir/thesis/UTCatalog/UTThesis/Forms/ThesisBrief.aspx?thesisID=204a25e3-bf3f-4bd7-8923-30110c807ef6>.
Accessed in: 4 September 2016. (In Farsi)
6. Noguchi, N., & Barawid Jr., O. C. (2011, August). Robot farming system using multiple robot tractors in Japan agriculture. *Proceedings of the 18th World Congress. The International Federation of Automatic Control*, Milano, Italy.
 7. Ramezani, H., ZakiDizaji, H., Masoudi, H., & Akbarizadeh, G. (2016). A new DSWTS algorithm for real-time pedestrian detection in autonomous agricultural tractors as a computer vision system. *Measurement*, 93: 126–134.
 8. Ramezani, H., Masoudi, H., Zakidizaji, H., & Akbarizadeh, Gh. (2017). Design and implementation of a machine vision system for standing human detection in front of tractor. *Journal of Researches in Mechanics of Agricultural Machinery*, 6(2): 9-18. (In Persian).
 9. Seidi, A. (2004). *Feasibility study of automatic guidance system for common tractors in Iran using appropriate technology*. Unpublished master's dissertation, University of Tabriz, Tabriz, Iran. 144 p. (In Persian)
 10. Thanpattranon, P., Ahamed, T., & Takigawa, T. (2016). Navigation of autonomous tractor for orchards and plantations using a laser range finder: Automatic control of trailer position with tractor. *Biosystems Engineering*, 147: 90-103.
 11. Zhang, C., Yang, L., & Zhang, Z. (2013). Development of robot tractor associating with human-drive tractor for farm work. *IFAC proceeding volumes*, 46(4): 83-88.

