نشریه مکانیزاسیون کشاورزی/ دوره ۶ شماره ۱/ سال ۱۴۰۰/ صفحه‌های ۹-۱

DOI: https://dx.doi.org/10.22034/jam.2021.40703.1135

امکان‌سنجی کاربرد سامانه‌ای مبتنی بر پردازش تصویر برای هدایت و راهبری تراکتور در عملیات شخم

شهاب زادخورش[۱] و حسین بهفر[۱*]

تاریخ دریافت: ۹۹/۴/۱۹ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۲/۲۶

۱- گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

*مسئول مکاتبه: h_behfa@hotmail.com

چکیده

امروزه راهبری تراکتور توسط راننده صورت می‌گیرد، راننده مجبور است نه تنها تراکتور را در مسیر پیش‌رو هدایت کند، بلکه در برخی عملیات همچون شخم، کاشت، کنترل علف هرز، سم‌پاشی و ... ادوات سوار را در موقعیت معینی نگه دارد. در عملیات شخم ، راهبری تراکتور و ادوات سوار بر اساس دنبال‌کردن شیار ایجاد شده در خاک در طی عبور قبلی صورت می‌گیرد. راننده باید برای حصول اطمینان از موقعیت صحیح عرضی، شیار را دنبال کند، لیکن این کار مداوم و خسته کننده، عملکرد او را تحت تاثیر قرار می‌دهد. در این تحقیق، سامانه کمک راننده تراکتوری مورد استفاده قرار گرفت که می‌توانست به راننده در طی عملیات شخم کمک نماید. شاسی آزمونی طراحی و ساخته شده و منابع نوری و دوربین بر روی آن نصب شدند. ابتدا موقعیت‌های مختلف دوربین مورد ارزیابی قرار گرفت. بدین منظور آزمون‌هایی بر روی شاسی‌های مختلف صورت گرفت. برخی عوامل مهم مانند محتوی رطوبت خاک، شرایط محیطی و وضعیت‌های مختلف آفتابی بودن یا ابری بودن روز که صحت سامانه را تحت تاثیر قرار می‌دادند، مورد ارزیابی قرار گرفتند. اثر شرایط سطحی مزرعه و بقایای محصول قبلی، نور طبیعی و منابع نو مصنوعی بر روی خطای سامانه مورد بررسی قرار گرفتند. طبق نتایج بدست آمده منابع نور LED به‌ویژه وقتی به‌صورت افقی مورد استفاده قرار گرفتند، بهترین نتیجه را نشان دادند. نور مصنوعی اثر قابل مشاهده‌ای را در تصویر گرفته شده در شرایط نور طبیعی زمین‌های دیم و خاک‌های شنی نشان نداد. بدترین دقت‌ها در زمین‌های دارای کلش سطحی غلات به دست آمد.

واژه‌های کلیدی: امکان سنجی، پردازش تصویر، تراکتور، شخم، ماشین بینایی، هدایت

Feasibility Study of Using a System Based on Image Processing for Guidance of Tractors During Plowing Operations

Shahab Zadkhoresh[1] and Hossein Behfar[1*]

Received: 9 July 2020 Accepted: 16 May 2021

[1]Department of Biosystems, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran

*Corresponding author: h_behfa@hotmail.com

Abstract

Nowadays, tractors are almost driven by drivers. A driver does not only has to steer it, but also keep the mounted implements in a given position for some operations, including soil tilling, seed planting, weed controlling, spraying, … . In tillage operation, tractor and attached implements guidance is obtained by fallowing a furrow created by the plow in the soil during the previous passage. Driver has to fallow it to ensure a correct lateral position, but this continuous tiresome work affects his performance. In this research, a tractor driver assistance system was implemented for tillage operation. This system design was based on image processing technique. A test frame was designed and fabricated and a camera and lightening sources were mounted on it. The different positions of the camera on the frame were evaluated to find the best installation place. The experiments were conducted on some different farms. The important factors that affected the system accuracy including soil moisture content, environmental conditions and sunny or cloudy day situations were evaluated. The effects of farm surface conditions, last crop residues, natural or artificial light sources on the system performance were evaluated. LED lightening sourcses showed the best result, especially when they were used horizontally. Artificial lightening did not show visible differences with natural lightening in dry farming and sandy soils. Remaining cereal stubbles caused the worse system inaccuracy between the studied farms.

Keywords: Feasibility study, Image processing, Machine vision, Plowing, Tractor guidance

How to cite:

Zadkhoresh, Sh., and Behfar, H. 2021. *Feasibility Study of Using a System Based on Image Processing for Guidance of Tractors During Plowing Operations.* Journal of Agricultural Mechanization 6 (1): 1-9.

۱- مقدمه

مکانیزاسیون کشاورزی در قرن اخیر انسان را از کارهای سنگین بسیاری رها کرده اما کارگرها هنوز هم کارهای تکراری و طولانی را تحت شرایط آب و هوایی سخت انجام می‌دهند. هدایت تراکتور به - عنوان نیروی محرکه منحصر به‌فرد در کشاورزی نیاز به توجه اپراتور برای مدت زمان طولانی دارد و این مسئله روی ایمنی و کیفیت تولید تاثیر می‌گذارد. نیاز به تمرکز با افزایش عرض ادوات و سرعت کاری که لازمه بالارفتن ظرفیت مزرعه‌ای می‌باشد، بالاتر می رود. علاوه بر این شرایط سخت ناشی از کار با تراکتور می‌تواند آسیب‌هایی با سطوح مختلف به راننده وارد کند به‌طوری که بالاترین آسیب در محیط کشاورزی ناشی از کار با تراکتور گزارش شده است (Bunn, *et al.* 2008).

به دلیل کاربرد وسیع ماشین‌ها و وسایل نقلیه در کشاورزی مکانیزه، یکی از وقت‌گیرترین کارها، هدایت وسیله نقلیه یا ماشین کشاورزی است. چنان‌که در سال ۱۹۹۰ تخمین زده شده است سالانه ۱۸۰ میلیون ساعت/کارگر، وقت کشاورزان انگلیسی صرف هدایت تراکتورهای کشاورزی می‌شود. مقداری از این زمان صرف هدایت تراکتور در معابر و جاده‌های عمومی و مسیرهای موجود در مزرعه می‌شود، لیکن قسمت عمده این وقت به دلیل کم بودن سرعت پیشروی تراکتور در حین عملیات مزرعه‌ای به هدر می‌رود که چنان‌که راننده بتواند از این کار (هدایت وسیله نقلیه و تعین مسیر پیشروی) فراغت یابد، می‌تواند باعث افزایش بازده عملیاتی شود (Johns, 1998).

هدایت تراکتور به‌عنوان نیروی محرکه منحصر به‌فرد در کشاورزی نیاز به توجه اپراتور برای مدت زمان طولانی دارد و این مسئله روی ایمنی و کیفیت تولید تاثیر می‌گذارد. نیاز به تمرکز با افزایش عرض ادوات و سرعت کاری که لازمه بالارفتن ظرفیت مزرعه‌ای می- باشد، بالاتر می‌رود. علاوه بر این شرایط سخت ناشی از کار با تراکتور می‌تواند آسیب‌هایی با سطوح مختلف به راننده وارد کند به‌طوری که بالاترین آسیب در محیط کشاورزی ناشی از کار با تراکتور گزارش شده است (Bunn *et al.* 2008).

سیستم‌های مختلف ناوبری، از جمله سیستم‌های مکانیکی، نوری، رادیو، اولتراسونیک و سیستم کابل راهنما، برای وسایل نقلیه کشاورزی طی دهه‌های گذشته توسعه یافته است (Richey, 1959; Tillett, 1991).

جلوگیری از کار کردن با وسایل کشاورزی در شرایطی که باعث تهدید زندگی انسان می‌شد، دلیل اصلی آغاز تحقیقات و توسعه وسایل نقلیه خودگردان بود. به عنوان مثال، استفاده از وسیله نقلیه در یک منطقه تحت تابش امواج خطرناک، جلوگیری از تماس مستقیم با مواد سمی، یا برای امنیت در کار با مواد منفجره. به تازگی، توسعه ناوبری خودمختار، فرصت‌هایی را برای کمک به مردم در کارهای روزانه خود، از جمله در مناطق صنعتی، فراهم کرده است (Gan-Mor, *et al.* 2002).

در بالاترین سطح اتوماسیون راننده بطور کامل حذف می‌شود و کلیه عملیات های مرتبط با او توسط سامانه هوشمند از قبل برنامه ریزی شده و با استفاده از یکسری عملگرهای مناسب انجام می‌گیرد. (Anthony *et al.* 2002).

مرحله اول توسعه، هدایت خودکار وسایل نقلیه، برای چندین سال با تعدادی از نوآوری‌ها در اوایل دهه ۱۹۲۰ مورد بررسی قرار گرفت (Sissons, 1939; Willrodt, 1924).

یک سیستم هدایت خودکار برای وسایل نقلیه کشاورزی باید قابل اعتماد، انعطاف‌پذیر، روان، دارای قابلیت نگهداری آسان، کارکرد ساده و ارزان باشد (Grovum and Zoerb, 1970). مزایای بالقوه وسایل نقلیه خودکار کشاورزی عبارتند از: افزایش بهره‌وری، افزایش دقت استفاده و افزایش ایمنی عملیات. علاوه بر این، پیشرفت سریع در الکترونیک، کامپیوتر و فناوری های محاسباتی، الهام بخش تازه‌ای در توسعه سیستم‌های هدایت خودرو بوده است. فن‌آوری‌های هدایتی مختلفی، از جمله هدایت مکانیکی، هدایت نوری، ناوبری رادیویی و هدایت اولتراسونیک، مورد بررسی قرار گرفته اند (Moncaster, & Harries, 1984; Tillett, 1993).

روش‌های مختلف برای دست‌یابی به هدایت خودکار ماشین- آلات کشاورزی با استفاده از ترکیبی از راه حل‌های موجود از جمله موقعیت جهانی و سیستم بینایی کامپیوتری مورد مطالعه قرار گرفته است (Pilarski, *et al.* 2002).

در RHEA یک ماموریت مدیریتی مبتنی بر نرم افزار برای مدیریت سیستم چند ربات توسعه داده شد. این مسئولیت برای ایجاد مسیرهای جهانی مشخص که قبلا برای هر وسیله نقلیه تثبیت شده، قبل از شروع ماموریت برنامه ریزی شده است (Gonzalez-de-Santos *et al*. 2017; Conesa-Muñoz, 2016).

Benson, *et al.* (1998) در تحقیقی با ترکیب GPS و GDS توانستند هدایت تراکتور را در سرعت $0.31\ \mathrm{m}\ s^{-1}$ با دقت ± 0.01 m انجام دهند. عدم واکنش مناسب در مقابل مشکلات پیش بینی نشده در مزرعه استفاده از این شیوه را محدود کرده است.

Rovira-Mas *et al.* (2005) از ترکیب حسگرهای ماشین بینایی و GPS برای هدایت خودکار یک تراکتور جاندیر مدل ۸۳۲۰ در مزرعه و با استفاده از کنترل کننده فازی استفاده کردند.

تشخیص خط راهنما در محصولات ردیفی، خاک‌ورزی و طول خط محصول درو شده یکی از رایج ترین روش‌های استفاده از ماشین بینایی است. هدایت یک دستگاه کمباین برداشت بر اساس موقعیت جانبی از طول محصول درو شده توسعه یافت (benson, *et al.* 2003).

García-Santillán *et al.* (2018) از یک سیستم تشخیص محصولات ردیفی مستقیم و دارای انحنا با استفاده از عکس‌های RGB برای تشخیص گیاهان سبز از خاک در مراحل اولیه رشد استفاده کردند.

Radcliffe *et al.* (2018) از سامانه بینایی برای ضبط تصاویر و از رایانه شخصی برای پردازش تصاویر در ناوبری وسایل نقلیه کشاورزی در باغ‌ها استفاده کردند.

Yun *et al.* (2018) در تحقیقی از روش تشخیص خط راهبری مبتنی بر بینایی سه بعدی برای سامانه راهبری خودکار در زمین‌های با آبیاری جوی و پشته استفاده کردند.

Kiani (2012) در تحقیق خود به طراحی، ساخت و ارزیابی سامانه‌ای هوشمند برای هدایت اتوماتیک خودرو کشاورزی در عملیات خاک‌ورزی به وسیله ماشین بینایی پرداخت. هدف نهایی این پروژه، طراحی و ساخت یک سامانه رباتیک هوشمند هدایت خودرو بوده که به وسیله آن بتوان مسیر از قبل مشخص شده درمزرعه را تشخیص داده، سپس خودرو مورد نظر را با فاصله مناسبی از شیار مورد نظر در عملیات مزرعه و یا در عملیات توأم کشاورزی برای جلو گیری از دوباره‌کاری و یا کم‌کاری و همچنین برای کمک به راننده در عمل هدایت ماشین و کاهش سختی کار راننده هدایت کند.

با توجه به این‌که محدودیت‌های موجود در محیط‌های روستایی و زراعی، به‌ویژه دره‌ها، مجاورت تپه‌ها و درختان، امواج ارسالی ماهواره‌ها قطع شده که باعث پایین آمدن دقت می‌شود و همچنین قیمت بالای بعضی از دریافت کننده‌های GPSها برای استفاده از سیستم موقعیت یاب GPS، تنها حسگر قابل اطمینان برای ما می‌تواند بینایی ماشین باشد که نسبت به GPS ارزانتر بوده و در اکثر کارهای تحقیقاتی صورت گرفته، کاربرد داشته و صنعتی کردن آن موفقیت آمیز می‌باشد.

در صورتی که سامانهٔ کمک راننده طراحی و به‌کار برده شود، خستگی راننده کم‌تر شده و دقت عملیات بهتر می‌شود. نظر به این‌که چون کنترل راهبری تراکتور به صورت عینی صورت می‌گیرد، راه حل مناسب برای کمک به راننده یک سامانه تصویری خواهد بود پردازش تصویر می‌تواند در این امر چاره ساز باشد.

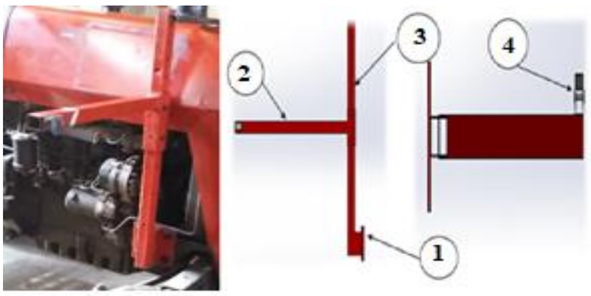
۱-۱ – هدف از این تحقیق

با پیشرفت سامانه‌های مختلف در زمینه کشاورزی و به وجود آمدن درخواست‌ها برای استفاده از ادوات دقیق درکشاورزی و با توجه به عدم دسترسی به سامانه‌های هدایت ماهواره‌ای دقیق نظیر RTK در بسیاری از نقاط این نیاز احساس شد که سامانه ای طراحی شود که بتواند جایگزینی مناسب برای سامانه‌های هدایت‌گر در مزرعه باشد. هدف این تحقیق طراحی و توسعه سامانه‌ای است که بتواند مسیری صحیح را در طول عملیات شخم به کمک پردازش تصویر در اختیار راننده تراکتور قرار دهد تا راننده بتواند به کمک مسیر دریافتی بر روی یک نمایشگر تراکتور را در مسیر صحیح حرکت هدایت کند.

۲- مواد و روش‌ها

در شروع این پژوهش هدف این بود که ابتدا موقعیت مناسب نصب دوربین را بر روی تراکتور مورد نظر پیدا کرده و سپس طراحی‌های لازم به‌منظور قرار گرفتن دوربین، روی آن انجام شود.

طراحی شاسی در دو مرحله انجام شد. داشتن حداقل ارتعاش، قابلیت نصب دوربین و همچنین قرار گرفتن در موقعیت تایر جلو تراکتور و مجاورت شیار شخم از معیارهای طراحی شاسی بود شکل (۱).



شکل ۱- شاسی طراحی شده در مرحله اول ۱) محل اتصال شاسی طراحی شده به شاسی تراکتور ۲) شاسی عمودی ۳) شاسی افقی ۴) مکان نصب دوربین قابل تنظیم

Fig 1. Chassis designed in the first stage 1- Chassis connection designed to the tractor chassis, 2- Vertical chassis, 3-Horizontal chassis, and 4- Customizable camera installation location

در این تحقیق برای تصویر برداری از دوربین Basler مدل daA1920-30uc استفاده شد.

۲-۱- ارتعاش سنجی

برای گرفتن تصویرهای مطلوب و با کیفیت در عملیات مزرعه، محل نصب دوربین می‌بایست حداقل لرزش و ارتعاش را می‌داشت. جهت اطمینان از کاربرد شاسی طراحی شده برای هدف ذکر شده، پس از نصب شاسی بر روی تراکتور مورد نظر، از یک ماژول سه محور مدل ADXL345 با دقت ۱۳ بیتی برای اندازه گیری ارتعاش استفاده شد. شاسی ساخته شده برروی تراکتور نصب شد و دوربین (Basler daA1920-30uc) در موقعیت مورد نظر قرار گرفت. طی شروع اولین آزمایش، به دلیل ارتعاش زیاد شاسی امکان تصویر برداری با دوربین مورد نظر فراهم نشد، فلذا مجبور به طراحی مجدد شاسی و یا تغییراتی شد که ارتعاش را به حداقل برساند، که در آن پایه شاسی به جای یک نقطه، به دو قسمت بدنه تراکتور وصل شد.

۲-۲- پردازش تصویر

علاقه به روش‌های پردازش تصویر دیجیتال، ناشی از کاربرد آن در دو دسته: بهبود اطلاعات تصویری برای تفسیر انسانی، و پردازش داده-های تصویر برای ذخیره سازی، تبدیل، و نمایش برای درک ماشین

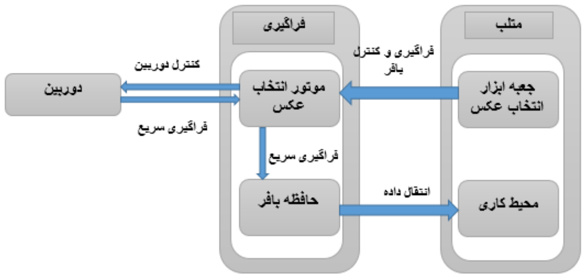
خودمختار می‌باشد. در این تحقیق از پردازش تصویر برای هدایت تراکتور استفاده شد.

سیستم ماشین بینایی که استفاده شد از اجزای زیر تشکیل شده است:

۱) حسگرهای تصویر۲) سخت‌افزار ویژه پردازش تصویر ۳) کامپیوتر ۴) نرم افزار مربوط به پردازش تصویر ۵) قابلیت حافظه حجیم ۶) نمایشگر

۲-۲-۱- نحوه گرفتن عکس

خروجی دوربین‌ها یک‌سری فریم‌های متوالی بود که به‌صورت جریانی از فریم‌ها از طریق برد رقمی‌ساز کننده وارد کامپیوتر می‌شد (معمولاً ۳۰ فریم در ثانیه). برای انجام عملیات پردازش تصویر، از بین جریان فریم‌های ورودی فیلم‌برداری تعدادی انتخاب شدند و سپس به‌صورت تصویر وارد فرآیند پردازش گردیدند. روند گرفتن تصویرها در شکل ۳ نشان داده شده است.



شکل ۳- روند گرفتن و پردازش تصویر در نرم افزار MATLAB

Fig 3. The process of capturing and processing images in the software Matlab

فاصله ۰/۵ متری از سمت راست تایر تراکتور و ۰/۵ متر در مسیر حرکت تراکتور برای پردازش انتخاب شد.

اگر همه تصویر برای تشخیص مورد استفاده قرار گیرد، ممکن است خطوط شیار کناری (به‌ویژه در نور پردازی مصنوعی) تداخل ایجاد کند. با استفاده از تنظیمات مربوط به ناحیه مورد علاقه (ROI)، فقط نصف وسطی تصویر انتخاب شد. این کار تا اندازه زیادی باعث کاهش یافتن زمان لازم برای پردازش می‌شود.

۲-۲-۲-الگوریتم پردازش تصویر

در این تحقیق شیوه‌ای برای تشخیص مسیر حرکت، در عملیات شخم برای هدایت و راهبری تراکتور در شرایط طبیعی مزرعه ارائه می‌شود. پیدا کردن مسیر حرکت به صورت بهینه و هوشمند هدف اصلی سیستم پیشنهادی، می‌باشد. برای رسیدن به این هدف به الگوریتمی بر پایه تصاویر ارسالی سامانه بینایی نیاز می‌باشد، تا مسیر مورد نظر تشخیص داده شود. از محیط برنامه نویسی نرم افزار متلب برای نوشتن الگوریتم پردازش تصویر استفاده شد.

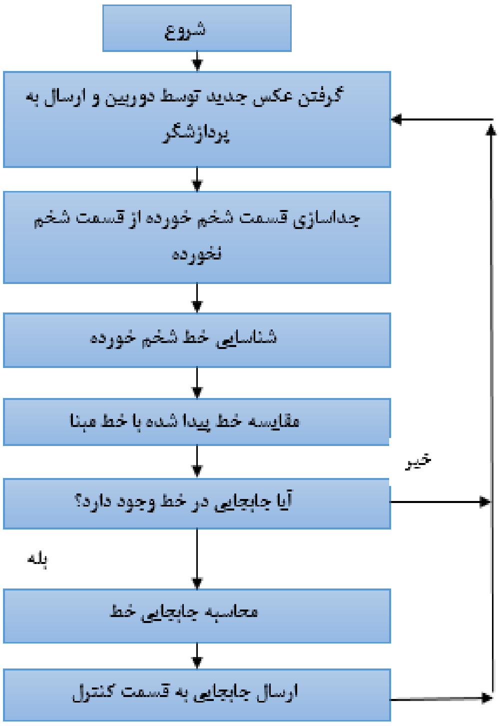
۲-۲-۲-۱- شناسایی مسیر حرکت در نرم‌افزار Matlab

الگوریتم شناسایی مسیر حرکت دارای سه مرحله اصلی می‌باشد:

الف) تصویر برداری، دریافت و انتقال

ب) پیش پردازش و ارتقاء کیفیت تصویر

پ) تشخیص مسیر مورد نظر با استفاده از تبدیل هاف



شکل ۴- فلوچارت مراحل مختلف الگوریتم شناسایی مسیر حرکت در عملیات شخم

Fig 4. Flowchart of different stages of the algorithm to identify the path in the plow operation

۲-۲-۲-۲- تصویربرداری، دریافت و ذخیره تصویر

عملیات تصویر برداری در دو مرحله صورت‌گرفت. مرحله اول برای طراحی اولیه الگوریتم انجام شد. این مرحله در مزارع شهرستان نقده استان آذربایجان‌غربی و مزارع ایستگاه تحقیقاتی کشاورزی خلعت پوشان در چندین منطقه از نظر بافت خاک، میزان بقایای گیاهی و رطوبت خاک و همچنین در زمان‌های مختلف از طول روز (صبح، ظهر و عصر) و همچنین در هوای آفتابی و ابری انجام گرفت. عکس برداری در این مرحله توسط دوربین یاد شده به صورت دستی انجام شد. چون مراحل اولیه طراحی الگوریتم، نیازمند تصاویری بود که کیفیت واقعی را در مراحل آزمایش در بر داشته باشد تا نتیجه خوبی را به مرحله شناسایی مسیر مورد نظر ارسال کند. مرحله دوم به‌صورت بلادرنگ در مزرعه انجام گرفت که تصویر به‌صورت پیوسته به الگوریتم فرستاده و پردازش می‌شد.

۲-۲-۳- پیش‌پردازش و ارتقای تصویر

بعد از بارگذاری تصویر توسط دستورات نرم افزار متلب عملیات فیلتر سازی و ارتقای تصویر انجام گرفت. هدف، فرآیند دستکاری یک تصویر بود، به‌طوری که نتیجه آن برای یک کاربرد خاص، بسیار مناسب‌تر از اصل آن باشد. فیلتر کردن مکانی، یکی از ابزارهای اصلی است که در این حوزه برای طیف وسیعی از کاربردها به‌کار می‌رود.

۲-۲-۴-تبدیل ماتریس مکعب به ماتریس یک بعدی

این تبدیل به صورت تبدیل فضای رنگ RGB به Gray می‌باشد. شکل (۵) نشان دهنده یک نوع از تصاویر گرفته شده از سطح مزرعه می‌باشد.

شکل ۵- تغییر تصویر به خاکستری الف) تصویر اصلی و ب) تصویر خاکستری

Fig 5. Picture change to gray (a) Main picture, (b) Gray image

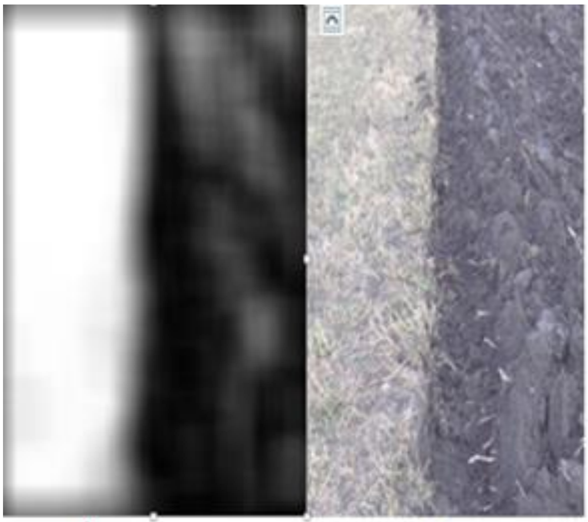
۲-۲-۵-اعمال فیلتر پایین‌گذر

اثر ایجاد شده توسط فیلتر پایین‌گذر، مات کردن (هموار کردن) تصویر است. از فیلتر پایین گذر برای حذف اثرات بقایای گیاهی، لبه‌های کوچک و همچنین از بین بردن نقاطی از تصویر که به‌صورت اتفاقی به‌وجود آمده‌اند (نویز)، استفاده شد.

مقادیر پیکسل‌های ماتریس خروجی از حاصل ضرب پیکسل‌های p(i,j) تصویر اولیه در المان‌های متناظر ماتریس ضرایب G(u,v) بدست می‌آید. ضرایب G(u,v) با استفاده از تابع گاوسی معادله(۱) بدست می‌آید و بدین صورت عمل می‌کند که ضرایب نزدیک‌تر به ماتریس وزن بیشتری داشته باشند. سپس میانگین مقادیر المان‌های جدید بجای پیکسل میانی (پیکسل مورد نظر) گذاشته می‌شود.

$$G(u,v)=\frac{u^{2}+v^{2}}{\sigma^{2}} \qquad (1)$$

که u و v فاصله از مرکز محورهای فرکانسی و σ فرکانس قطع می‌باشد.

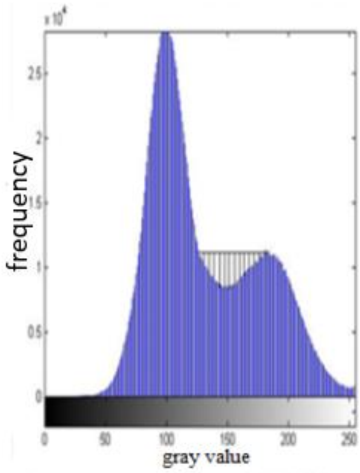


شکل ۶- فیلتر گذاری تصویر الف) تصویر اصلی ب) فیلتر پایین گذر اعمال شده بر روی تصویر

Fig 6. Picture filtering (a) Main picture, (b) Low-pass filter applied to the image

۲-۲-۶- آستانه‌سازی

برای باینری کردن از روش آستانه سازی استفاده می‌شود که در این روش، تصویر به دو قسمت تقسیم می‌شود که در این تحقیق، زمین شخم خورده و شخم نخورده بود. برای این‌کار باید یک عدد به‌عنوان مرز جداسازی تعیین می‌شد که این عدد اصطلاحاً سطح آستانه گفته می‌شود. برای این تحقیق سطح آستانه، هیستوگرام یا نمودار فراوانی تصویر (شکل ۷) رسم شد، درّه بین دو قلّه، به‌عنوان سطح آستانه انتخاب می‌شود. سپس این عدد که نشان دهنده سطح خاکستری بین زمین شخم‌خورده و شخم‌نخورده می‌باشد اعمال شده و تصاویر بدست آمده از آستانه سازی با استفاده از این عدد مورد ارزیابی قرار می‌گیرد.

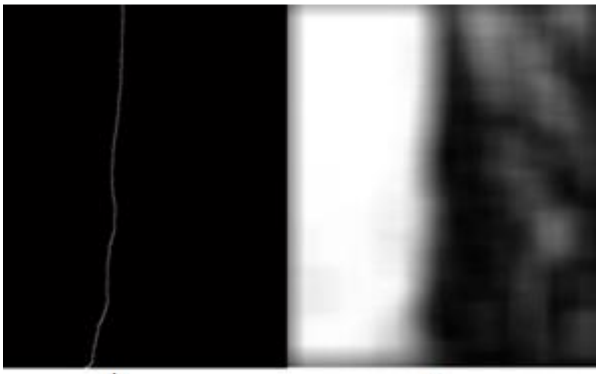


شکل ۷- هیستوگرام یا نمودار فراوانی مقادیر خاکستری پیکسل‌ها

Fig 7. Histogram or frequency of pixels gray value chart

۲-۲-۲-۷-آشکار سازی لبه

آشکارسازی لبه‌ها به عنوان آخرین و مهم‌ترین وظیفه در مرحله پیش پردازش می‌باشد. آشکار سازی لبه معمولا برای تشخیص لبه‌های یک شیء از بین چند شیء دیگر مورد استفاده قرار می گیرد، برای این کار از تابعی به نام edge استفاده می شود. در عملیات لبه برداری ورودی یک تصویر به فرمت intensity می‌باشد و در خروجی تصویر binary داده می‌شود، که در تصویر حاصل مرزهای بیرونی تصویر به صورت یک (۱) و مرزهای داخل به صورت صفر (۰) نشان داده می-شود. لبه ها را در تصاویر intensity پیدا می‌کند، این تابع یک تصویر باینری یا intensity را به عنوان ورودی می‌گیرد و یک تصویر باینری BW به همان اندازه‌ی تصویر اولی بر می‌گرداند، که جاهایی که تابع لبه‌ها را در تصویر پیدا می‌کند، در تصویر خروجی ۱ می‌کند و جاهایی دیگر را ۰ قرار می‌دهد.



b a

شکل ۸- الف) تصویر دریافت شده از فیلتر پایین‌گذر ب) الگوریتم لبه یاب اعمال شده بر روی تصویر دریافت شده از فیلتر پایین‌گذر

Fig 8. (a) Image received from low-pass filter, (b) Edge finder algorithm applied to the image received from the low pass filter

۲-۳- استفاده از نور پردازی مصنوعی برای تشخیص لبه در زمین‌های شنی

در زمین‌های شنی و یا دارای رنگ روشن که اختلاف رنگی بین زمین شخم خورده و زمین شخم نخورده وجود ندارد، برای شناسایی مسیر مورد نظر از نورپردازی مصنوعی برای سایه‌اندازی از دیواره شخم استفاده شد. نوع زمین مورد نظر در شکل ۹ قابل مشاهده است.

شکل ۹- شرایط زمین شنی

Fig 9. Sandy soil comdition

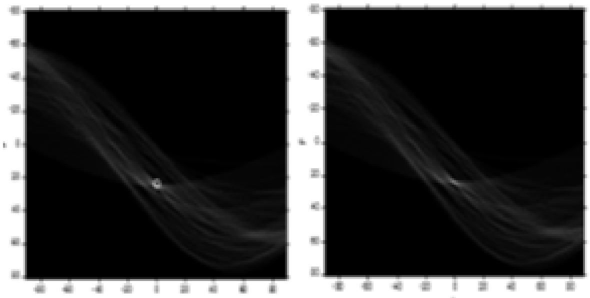
عملیات نورپردازی در شرایط آب و هوایی معمولی قبل از غروب کامل آفتاب انجام شد. در این مرحله با توجه به این‌که هنوز هوا روشن بود، نور پردازی تأثیری در هدف مورد نظر نداشت. مرحله دوم عملیات نورپردازی در هوای ابری صورت گرفت. در این مرحله نیز نتایج قابل قبولی به‌دست نیامد. مرحله بعدی در هنگام غروب آفتاب صورت پذیرفت که در این مرحله سایه به خوبی ایجاد شد. سایه ایجاد شده از دیواره شیار شخم قابل مشاهده است (شکل ۱۰).

شکل ۱۰- سایه ایجاد شده از دیواره شخم توسط نورپردازی

Fig 10. Shade created by the plow wall by lighting

۲-۴- استفاده از تبدیل هاف برای شناسایی مسیر مورد نظر

با اعمال این تبدیل مختصات قطبی خطوط صاف در تصویر بدست آمده از مرحله لبه یابی بدست می‌آید. البته این مختصات به راحتی قابل استخراج نمی‌باشد. زیرا خروجی تابع تبدیل، مقدار زاویه خط (Θ) و فاصله آن از مبدا (ρ) می‌باشد. خروجی تبدیل Hough در شکل (۳-۱۱) نشان داده شده است. تبدیل Hough باعث می‌شود تا مختصات نقاطی که روی یک خط راست قرار دارند در یک نقطه تصویر شوند.



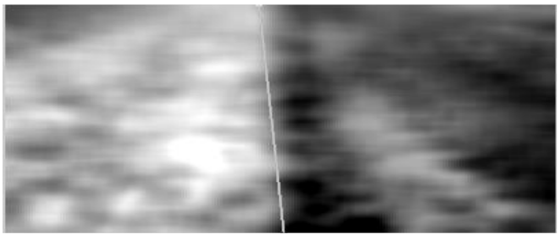
b a

شکل ۱۱ - الف) خروجی تبدیل Hough ب) خروجی الگوریتم Houghpeaks و پیدا کردن پر نورترین نقطه

Fig 11. (a) Hough conversion output, (b) Output the Houghpeaks algorithm and find the brightest point

بنابراین، نقاطی از تصویر خروجی تبدیل هاف که نسبت به بقیه نقاط روشن‌تر به نظر می‌رسد (شکل ۱۱ ب) مختصات همان خطی است که تمام نقاط روی آن خط بر روی این نقطه تصویر شده است.

محور عمودی (شکل ۱۱ ب)، فاصله مبدا از تصویر ρ و محور محور افقی آن زاویه Θ می‌باشد. حال با داشتن این مقادیر و انجام محاسبات ساده، به راحتی می‌توان مختصات خط را پیدا کرد و بر روی شکل اصلی رسم کرد که نتیجه نهایی در شکل ۱۲ نشان داده شده است.



شکل۱۲- نتیجه نهایی حاصل از تبدیل Hough برای شناسایی مسیر مورد نظر

Fig 12. The end result of the Hough conversion to identify the desired path

۲-۵- سامانه حذف پردازش تصاویر غیرقابل قبول در حین حرکت تراکتور

برای این‌کار حسگر ADXL345 در روی تراکتور نصب گردید. این حسگر در راستای y شیب تراکتور را اندازه می‌گیرد که مقدار این شیب با توجه به رابطه (۲) بدست می‌آید:

شکل ۱۳- قرار گرفتن چرخ جلوی تراکتور و نشان دهنده زاویه θ

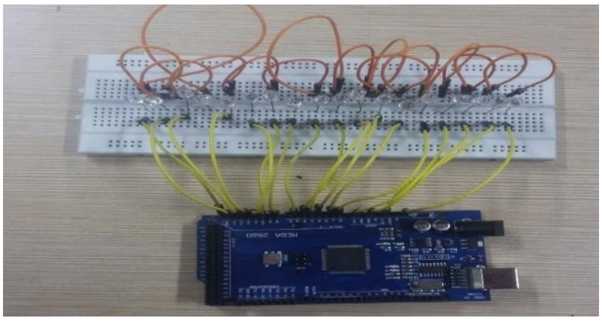
Fig 13. Position of the tractor front wheel and the angle Θ indication

$$\text{Tan } \Theta = \frac{0.2}{1.54} \qquad (۲)$$

که در آن فاصله بین دو چرخ ۱/۵۴ متر و عمق شخم ۰/۲ متر می‌باشد. این سامانه به‌صورت برخط زاویه عرضی تراکتور را اندازه گرفته و در صورت انحراف بیشتر از ۳ درجه نسبت به این زاویه، سیگنالی به نرم‌افزار متلب توسط آردوینو ارسال می‌کرد، که تصاویر مربوط به آن لحظه پردازش نگردد.

۲-۶- سامانه کمک هدایت

اطلاعات بدست آمده از پردازش تصویرهای گرفته از سطح مزرعه می‌بایست برای راننده نمایش داده می‌شد. برای این‌کار روش‌های مختلفی بود که از جمله آن‌ها مانیتور و لایت‌بار را می‌توان نام برد. به دلیل هزینه بالای نصب سیستم مانیتوری، استفاده از این سیستم میسر نشد. برای نمایش اطلاعات بدست آمده از یک لایت بار طراحی شده که به آردوینو متصل هستند استفاده شد. این مدار از چند LED تشکیل شده که به صورت خطی کنار هم قرار گرفته‌اند (شکل ۱۴).



شکل ۱۴- مدار طراحی شده برای نمایش اطلاعات تصویرهای پردازش شده

Fig 14. The circuit designed to display processed image information

در صورتی که تراکتور از مسیر شیار شخم انحراف پیدا کند، خروجی تصویرهای پردازش شده با روشن شدن LEDها نمایش داده می‌شود. نحوه کار به‌این صورت می‌باشد که، اطلاعات دریافتی توسط آردوینو به LEDها ارسال شده و روشن می‌شوند. در صورتی که انحراف تراکتور از مسیر شیار شخم بیشتر باشد LEDهای بیشتری روشن خواهند شد.

۲-۷- شاسی

ملاک انتخاب محل نصب شاسی طراحی شده بر روی تراکتور، زاویه دید مناسب دوربین بر شیار شخم، قابل تنظیم بودن زاویه دوربین و ارتعاش کم بود. برای اطمینان از مناسب بودن شاسی ساخته، مقدار ارتعاش آن توسط ماژول ADXL 345 اندازه گیری شد. اندازه‌گیری در سه جهت، x, y, z انجام شد که در آن x در راستای مسیر حرکت تراکتور، y عمود بر مسیر حرکت تراکتور و z در جهت بالا و پایین می‌باشد شکل (۱۵).

شکل۱۵- نشان دهنده X مسیر حرکت تراکتور، Y عمود بر مسیر حرکت تراکتور در جهت افق و Z عمود بر مسیر حرکت در جهت بالا و پایین

Fig 15. (x) Tractor movement path, (y) Perpendicular to the trajectory of the tractor in the direction of the horizon, (z) Perpendicular to the path of movement in the up and down direction

۳- نتایج

باتوجه به نتایج به بدست آمده از داده‌های ستون انحراف معیار در تحلیل داده‌های دو نوع شاسی طراحی شده، قابل مشاهده است که ارتعاش در محورهای y و z در شاسی تغییر یافته کمتر شده است، ولی در محورهای x تقریباً تغییر نیافته است. با توجه به اهمیت داده-های محورهای z و y از لحاظ قرار گرفتن در راستای عرض و طول تصاویر گرفته شده، شاسی دوم به عنوان شاسی مناسب‌تر برای انجام آزمایش‌های مزرعه‌ای انتخاب شد (جدول ۱ و ۲).

جدول ۱- نتایج به‌دست آمده از ارتعاش سنجی شاسی اولیه

Table 1. Results from the initial chassis vibration measurement

حداکثر Maximum	انحراف معیار Standard deviation	میانگین Average	نام name
17.0200	7.2673	3.1566	A_X
7.9600	4.7042	-2.8397	A_Y
3.8300	8.9440	13.9315	A_Z

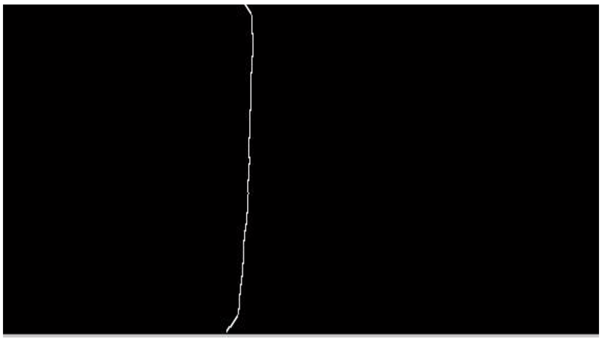
جدول ۲- نتایج بدست آمده از ارتعاش سنجی شاسی ثانویه

Table 2. Results from secondary chassis vibration measurement

حداکثر Maximum	انحراف معیار Standard deviation	میانگین Average	نام Name
16.59	7.26.73	-4.7604	A_X
5.88	2.5181	-1..036	A_Y
23.69	5.4046	14.1597	A_Z

۳-۱- انتخاب زاویه دوربین

تصویر برداری در سه زاویه ۳۰، ۴۵ و ۶۰ درجه انجام شد. بعد از انجام آزمایش‌های مزرعه‌ای در سه زاویه مورد نظر دوربین، مشخص شد که زاویه ۶۰ درجه چون محدوده دورتر و بازتری از شیاز شخم را نشان می‌دهد، لبه دیواره شخم با دقت بهتری شناسایی شده و دارای خطای کمتری می‌باشد (شکل ۱۶).



شکل۱۶- تشخیص لبه شیار در زاویه ۶۰ درجه

Fig 16. Groove edge detection at 60 degree angle

۳-۲- ارزیابی خطای سامانه

ارزیابی خطای این سامانه در سه نوع خاک لومی بدون پوشش گیاهی (زمین آیش از قبل شخم زده شده)، لومی با بقایای گیاهی و زمین شنی انجام شد، که اجباراً در زمین شنی، به دلیل عدم مشاهده تمایز رنگی بین زمین شخم نخورده و شخم خورده، نورپردازی مصنوعی صورت گرفت. در زمین‌های لومی به دلیل بالا بودن درصد رس و هوموس و در نتیجه قابلیت حفظ رطوبت بیشتر نسبت به زمین‌های شنی، رنگ زمین شخم خورده نسبت به زمین شخم نخورده تیره‌تر است. در زمین شحم نخورده، رطوبت لایه سطحی در اثر باد و نور آفتاب از بین رفته و روشن‌تر است و این باعث تمایز تصویری چشمگیری می‌شود. در زمین‌های شنی مقادیر رس و هوموس خیلی کم بوده، قابلیت حفظ رطوبت پایین بوده و در نتیجه تمایز رنگی بین دو زمین شخم خورده و نخورده پس از گاورو شدن خیلی کم بوده و در تصاویر مشهود نبود.

برای اندازه‌گیری خطا، موقعیت تایر جلوی تراکتور از دیواره شیار شخم در فاصله‌های انتخابی اندازه‌گیری شد و عملیات پردازش تصویر نسبت به موقعیت تایر صورت گرفت. همانطور که انتظار می-رفت به دلیل تداخل تصویری بقایای گیاهی، مخصوصاً در لبه‌های شیار و در عملیات بخش‌بندی تصویر، خطای سامانه در زمین با بقایای گیاهی بیشتر بود. بهترین نتیجه برای زمین‌های نورپردازی شده حاصل شد. علی‌رغم نتیجه بسیار خوبی که در پی داشت، ولی چون این روش باید شبانه یا در هنگام غروب صورت گیرد، شاید مطلوبیت زیادی برای راننده نداشته باشد. راننده می‌تواند شخم زمین‌های شنی را به اواخر وقت موکول کند (جدول ۳).

شکل ۱۷- موقعیت تایر نسبت به دیواره شخم در فاصله صفر

Fig 17. Position of the tire relative to the plow wall at zero distance (0)

شکل ۱۸- موقعیت تایر نسبت به دیواره شخم در فاصله ۱۰ سانتی-متری

Fig 18. Position the tire relative to the plow wall at a distance of 10 cm

در این پژوهش، نسبت به پژوهش (Kiani *et al.* 2012) تأثیر سه پارامتر نوع زمین، زاویه دوربین و نورپردازی مصنوعی مورد ارزیابی

قرار گرفت. در این تحقیق به دلیل استفاده از نورپردازی مصنوعی به‌ویژه در اوایل صبح و اواخر روز، نورپردازی باعث تشخیص بهتر دو زمین شخم‌خورده و شخم‌نخورده شد. بنابراین، در این پژوهش دقت بهتر ۱۲ میلی‌متر به‌دست آمد. در صورتی که در تحقیق کیانی و همکاران، این دقت ۳۰ میلی‌متر بوده است. دلیل بالا بودن این دقت استفاده از نور پردازی مصنوعی بود. نتایج به دست آمده از بررسی دقت این سامانه در شرایط مختلف زمین در جدول ۳ قابل مشاهده است.

جدول ۳- خطای سامانه در شرایط مختلف زمین و نورپردازی

Table 3. System error in different ground and lighting conditions

نوع زمین Type ground	لومی بدون پوشش گیاهی Loamy without vegetation	لومی با بقایای گیاهی Loamy with plant debris	شنی‌با نورپردازی مصنوعی Sandy with artificial lighting
خطا (mm) error	25	35	12

۵-منابع

Anthony, S., Cristian, D., Carl, W., Herman, H., and Dvid, S. (2002). *A System for Semi-Autonomous Tractor Operations.* Auton. Robots 13: 87-10. (In Persian).

Benson, E. R., Reid, J. F., and Zhang, Q. (2003). *Machine vision-based guidance system for agricultural grain harvesters using cut-edge detection.* Biosystems Engineering, 86(4), 389-398. (In Persian).

Benson, E. R., Stombaugh, T. S., Noguchi, N., Will, J. D., and Reid, J. F. (1998). *An evaluation of a geomagnetic direction sensor for vehicle guidance in precision agriculture applications.* ASAE paper, 983203. (In Persian).

Bunn, T. L., Slavova, S. and Hall, L. (2008). *Narrative text analysis of Kentucky tractor fatality reports. Accident Analysis & Prevention*, *40*(2), 419-425. (In Persian).

Gan-Mor, S., Upchurch, B. L., Clark, R. L., and Hardage, D. (2002). *Implement guidance error as affected by field conditions using automatic DGPS tractor guidance* (No. 021153). ASAE Paper. (In Persian).

García-Santillán, I., Guerrero, J. M., Montalvo, M., and Pajares, G. (2018). *Curved and straight crop row detection by accumulation of green pixels from images in maize fields. Precision Agriculture*, 19(1), 18-41. (In Persian).

Gonzalez-de-Santos, P., Ribeiro, A., Fernandez-Quintanilla, C., Lopez-Granados, F., Brandstoetter, M., Tomic, S., and Perez-Ruiz, M. (2017). *Fleets of robots for environmentally-safe pest control in agriculture.* Precision Agriculture, 18(4), 574-614

Grovum, M. A., and Zoerb, G. C. (1970). *An automatic guidance system for farm tractors. Transactions of the ASAE*, 13(5), 565-0573.

Johns, G. (1998). *Automatic Guidance of Agricultural field. Machinery.* Proceeding of the 5 th International conference Tokyo, Japan. (In Persian).

Kiani, S., Kamgar, S., and Raoufat, M. H. (2012). *Machine vision and soil trace-based guidance-assistance system for farm tractors in soil preparation operations.* Journal of Agricultural Science, 4(7), 1. (In Persian)

Moncaster, M. E., and Harries, G. O. (1984). *Automatic control of tractors and field machines.* (In Persian).

Pilarski, T., Happold, M., Pangels, H., Ollis, M., Fitzpatrick, K., and Stentz, A. (2002). *The Demeter system for automated harvesting.* Autonomous Robots, 13, 9-20. (In Persian).

Radcliffe, J., Cox, J., and Bulanon, D. M. (2018). *Machine vision for orchard navigation. Computers in Industry*, *98*, 165-171. (In Persian).

Richey, C.B. (1959). *“Automatic pilot” for farm tractors.* Agricultural Engineering, 40(2):78–79, 93. (In Persian).

Rovira-Mas, F., Han, S., Wei, J., and Reid, J. F. (2005). *Fuzzy logic model for sensor fusion of machine vision and GPS in autonomous navigation.* In 2005 ASAE Annual Meeting (p. 1). American Society of Agricultural and Biological Engineers. (In Persian).

Sissons, R. (1939). Plowing in circles saves time. *Prairie Farmer*, *111*(20), 7.

Tillett, N. D. (1991). *Automatic guidance sensors for agricultural field machines: a review.* Journal of agricultural engineering research, 50, 167-187. (In Persian).

Tillett, N. D. (1993). *Robotic manipulators in horticulture: a review. Journal of agricultural engineering research*, *55*(2), 89-105. (In Persian).

Willrodt, F. L. (1924). *U.S. Patent No. 1,506,706*. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark. (In Persian).

Yun, C., Kim, H.J., Jeon, C.W., and Kim, J.H., (2018). *StereoVision-Based Guidance Line Detection Method for Auto-guidance system on Furrow Irrigated Fields. IFAC-PapersOnLine*, *51*(17), pp.157-161. (In Persian).