

## طراحی، ساخت و ارزیابی سامانه کمک راننده به عنوان جایگزینی برای مارکر ماشین‌های کاشت با استفاده از ماشین بینایی

سجاد کیانی<sup>۱\*</sup> و سعادت کامگار<sup>۲</sup>

<sup>۱</sup> دانشجوی کارشناسی ارشد و <sup>۲</sup> استادیار دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز

(تاریخ دریافت: ۱۳۸۹/۶/۶ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۰/۲/۲۸)

### چکیده

در این پژوهش با استفاده از سامانه ماشین بینایی، مدارهای الکترونیکی و مدارهای هیدرولیکی الحاقی، سامانه کمک راننده‌ای طراحی، ساخت و ارزیابی شد تا بتواند با شناسایی خط ایجاد شده در عملیات کاشت (خط بین قسمت کاشت شده و کاشت نشده) تراکتور حامل بذرکار را هدایت نماید. برای این کار ابتدا الگوریتم در شرایط مختلف نوری برای تصاویر گرفته شده از مزرعه در حین عملیات کاشت ارزیابی شد و میزان خطای شناسایی خط (LPE) تعیین شد. در نهایت الگوریتم طراحی شده بر روی تراکتور MF 399 پیاده‌سازی و ارزیابی‌های مزرعه‌ای نیز انجام شد. عوامل مختلفی از جمله زمان پاسخگویی (RT) و انحراف از مسیر مورد نظر (DE) در طراحی این سامانه موثر بودند و مورد ارزیابی مزرعه‌ای قرار گرفتند. در بررسی تاثیر دو عامل سرعت پیشروی و زاویه فرمان‌گیری چرخ بر RT و DE از آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در پنج تکرار برای RT و سه تکرار برای DE استفاده شد. نتایج نشان داد که موقعیت تابش نور خورشید بر LPE در سطح ۵٪ اثر معنی داری نداشت. با افزایش سرعت پیشروی RT کاهش، ولی DE افزایش پیدا کرد که منجر به افزایش خطای سامانه گردید. همچنین با افزایش زاویه فرمان‌گیری چرخ به ازای هر دستور مدار کنترل الکترونیکی، RT کاهش، ولی معیار DE تغییری نکرد که علت اصلی آن را می‌توان واکنش سریع سامانه بیان کرد.

**واژه‌های کلیدی:** سامانه کمک راننده، هدایت خودکار، ماشین بینایی، عملیات کاشت

### مقدمه

در کشاورزی مورد استفاده قرار می‌گیرند را می‌توان به دو دسته اصلی تقسیم کرد. دسته اول ماشین‌های دنباله‌بند تراکتور، و دسته دوم ربات‌هایی متحرک هستند که به صورت خودگردان در زمین زراعی حرکت کرده و از سامانه‌های مختلفی همچون تعیین موقعیت جغرافیایی<sup>۱</sup> (GPS) و سامانه پردازش تصویر و ماشین بینایی استفاده می‌کنند.

**هدایت خودکار با استفاده از سامانه تعیین موقعیت جغرافیایی**  
دقت مکان‌یابی این سامانه در حد چند متر می‌باشد، که بسته به کیفیت گیرنده تغییر می‌کند. با انجام بررسی‌هایی که در زمینه سامانه‌های هدایت به وسیله GPS انجام گرفته است می‌توان به این نتیجه رسید که این سامانه‌ها، انجام عملیات را هنگامی که دید کافی در مزرعه وجود ندارد، امکان‌پذیر می‌سازند و در شب، در هوای مه‌آلود و در مناطقی که شب هنگام به علت وزش باد کمتر، بهترین موقع سمپاشی می‌باشد، بهترین گزینه هستند و کمترین تاثیرپذیری را از هوای محیطی دارند (Lowenberg & Boer, 1999).

احتیاج به اینکه راننده به طور پیوسته فرمان وسیله را در دست داشته باشد و همزمان ادوات کششی و یا سوار را در وضعیت مناسب کاری نگه دارد، یکی از دلایل اصلی توجه به هدایت خودکار ادوات می‌باشد. به همان نسبت که عرض کار ادوات افزایش می‌یابد، مشکلات راننده برای نظارت بر کار ادوات از درون کابین افزایش می‌یابد که این مشکلات می‌تواند منجر به دوباره‌کاری و یا انجام نشدن عملیات کشاورزی در قسمتی از مزرعه شود. افزایش سرعت کار ادوات کشاورزی نیز بر مشکلات رانندگان افزوده است. از یک طرف هدایت خودکار موجب کاهش زحمت و سختی کار برای راننده می‌شود و به او اجازه می‌دهد که تمام وقتش را صرف کنترل و تنظیم وسیله نماید. از طرف دیگر هدایت خودکار، انجام شدن کار را به صورت دقیق و بهینه در طول روز و در سراسر مزرعه تضمین می‌کند و باعث کاهش هزینه‌ها، افزایش بازده تولید محصول و در نتیجه سود بیشتر می‌شود. به طور کلی ماشین‌هایی که به صورت خودکار

1. Global Positioning System(GPS)

\* نویسنده مسئول: kiani.sajad@gmail.com

Søgaard & Olsen (2003)، روشی بر مبنای بینایی برای تشخیص و مکان‌یابی ردیف محصول برای کمک به هدایت خودکار کولتیواتور در عملیات مزرعه‌ای بیان کردند. سامانه مرکب از دوربین تصویر برداری و سیستم پردازشگر مرکزی می‌باشد. دوربین بر روی دستگاه به صورت مایل طوری نصب شده بود که حداقل پنج ردیف محصول در داخل عکس نمایان باشد. عکس‌های گرفته شده توسط دوربین به صورت پیوسته به قسمت پردازشگر انتقال داده می‌شود تا عملیات پردازش و محاسبه میزان جابه‌جای عرضی مورد نیاز کولتیواتور انجام شود و دستورات لازم به قسمت عملگر فرستاده شود تا کولتیواتور در جهت تعیین شده قرار گیرد.

همچنین در تحقیقی دیگر الگوریتمی برای مشخص کردن ردیف‌های کشت ارائه شد که تصاویر را به صورت دو بعدی تجزیه و تحلیل می‌کرد. الگوریتم شناسایی ردیف کشت بر پایه Stereo-vision در مزرعه سویا برای ردیف‌های مستقیم و منحنی شکل آزمون شد و ارزیابی آزمایش‌های انجام شده نشان داد که این سامانه می‌تواند ردیف‌های محصول را با دقت و اطمینان در مزرعه با علف هرز زیاد و قسمت‌های کشت نشده تشخیص دهد (Kise et al., 2005).

هدف نهایی این تحقیق طراحی، ساخت و ارزیابی یک سامانه خودکار با کاربرد ماشین بینایی بود که به وسیله آن بتوان برهم خوردگی خاک ایجاد شده (توسط ادوات کاشت در اولین مسیر کار) در مزرعه را تشخیص داده، سپس تراکتور را با فاصله مناسب از خط مورد نظر در عملیات کاشت و یا در عملیات توام کاشت با خاک‌ورزی برای جلوگیری از دوباره‌کاری و یا کم‌کاری و همچنین برای کمک به راننده در عمل هدایت ماشین و کاهش سختی کار راننده هدایت کند.

## مواد و روش‌ها

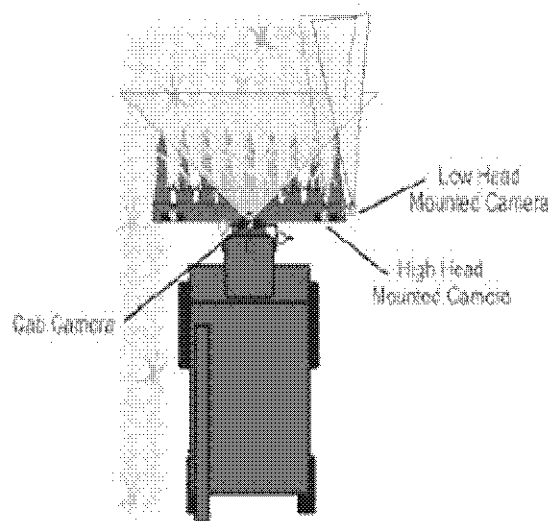
### الگوریتم شناسایی مسیر حرکت

الگوریتم شناسایی مسیر حرکت دارای سه فاز اصلی الف) تصویربرداری، دریافت و ذخیره تصویر، ب) پیش پردازش و ارتقای کیفیت تصویر و پ) استفاده از تبدیل هاف<sup>۱</sup> برای تشخیص مسیر مورد نظر می‌باشد. الگوریتم پردازش تصویر در دو محیط برنامه نویسی متلب<sup>۲</sup> و زبان برنامه نویسی C++<sup>۳</sup> نوشته شد. از نرم افزار متلب جهت طراحی اولیه مراحل الگوریتم

توانایی توسعه دقیق اطلاعات به صورت لحظه به لحظه برای کنترل خودکار ماشین در مزرعه ضروری می‌باشد. در تحقیقی دیگر بر روی سامانه هدایت به وسیله GPS توانستند موقعیت ماشین را با خطای چند سانتی‌متر اندازه‌گیری کنند و نتیجه‌گیری کردند که با افزایش سرعت از ۱ به ۲ متر در ثانیه، میزان انحراف از مسیر از ۲۵ میلی‌متر به ۶۹ میلی‌متر افزایش می‌یابد (Stoll & Dieterkutzbach, 2001).

### هدایت خودکار با استفاده از سامانه پردازش تصویر و ماشین بینایی

یکی از مشکلات استفاده از کمباین، مخصوصاً برای درو کردن محصولات ردیفی، پیدا کردن دقیق ردیف‌های کاشت محصول می‌باشد. در مواردی که کمباین دارای دماغه عریض می‌باشد و همچنین محصول بلند و پر پشت است به طوری که فواصل بین ردیف‌ها مشخص نیست هدایت کمباین برای راننده مشکل می‌شود (Benson et al., 2001). برای رفع این مشکل، الگوریتمی ارائه کردند که از آن برای هدایت کمباین برداشت ذرت علوفه‌ای استفاده می‌شد. کمباین مورد استفاده در این تحقیق از نوع Case 2188 بوده و تمام شیرهای سیستم هدایت آن از نوع الکترو هیدرولیک بود. کنترل وسیله از دو بخش پردازشگر مرکزی و کنترل کننده‌های مجزا تشکیل شده است. پردازش تصویر به صورت همزمان بعد از تصویر برداری در قسمت پردازشگر مرکزی انجام می‌شد و الگوریتم طراحی شده بر اساس دنبال کردن خط ردیف محصول بریده شده از محصول بر جای مانده عمل می‌کرد. دو دوربین متصل شده در طرفی که محصول درو شده عمل تشخیص خط ردیف درو نشده را انجام می‌دهند و دوربین متصل در بالای اتاقک راننده در هدایت بهتر کمباین کمک می‌کند (شکل ۱).



شکل ۱- دوربین‌های قرار داده شده در انتهای هد برداشت، بالای اولین ردیف محصول در حال برش و بالای اتاقک کمباین

1. Hough Transform

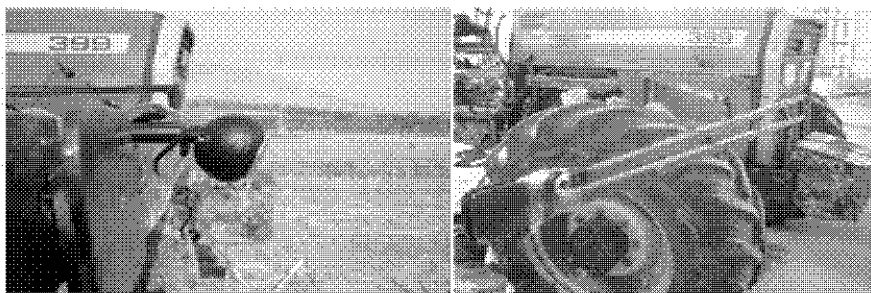
2. Matlab Software- Matrix Laboratory (2007)

3. Visual studio, C++ (2005)

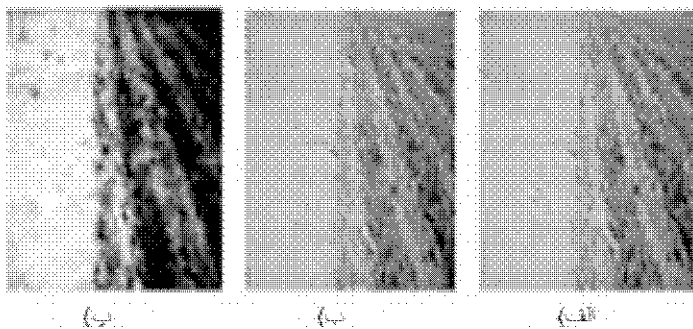
ب) روش‌های میدان فرکانس<sup>۵</sup>. میدان مکان به خود تصویر اشاره دارد و روش‌های این گروه بر اساس کار مسقیم با پیکسل‌های تصویر می‌باشند. روش‌های میدان فرکانس مبتنی بر تبدیل فوریه هستند. بدین منظور در ابتدا تبدیل فضای رنگی RGB به فضای سطح خاکستری Gray برای کاهش زمان اخذ و پردازش تصاویر انجام شد (شکل ۳- الف و شکل ۳- ب). تصویر شکل (۳- پ) نتیجه اعمال توابع مختلف روش میدان مکان برای افزایش کیفیت تصویر گرفته شده از مزرعه را نشان می‌دهد.

برای حذف تاثیر گیاهان سبز، بافت خاک، لبه‌های کوچک و برای از بین بردن نقاطی از تصویر که به صورت منفرد و اتفاقی به وجود آمده‌اند (نویز)، از فیلتر پایین گذر<sup>۷</sup> استفاده شد. فیلتر گوسین<sup>۸</sup> (پایین گذر) از یک ماتریس  $n \times n$  (بسته به کاربرد و شدت نویز) شامل  $n^2$  المان  $(f_{ij})$  استفاده می‌کند و همان طور که از نامش پیداست فقط فرکانس‌های پایین از آن عبور می‌کنند و باعث هموار شدن<sup>۹</sup> تصویر و حذف نویزها می‌شود. مقادیر پیکسل‌های ماتریس خروجی از حاصل ضرب پیکسل‌های  $P_{ij}$  تصویر اولیه در المان‌های متناظر ماتریس ضرایب  $f_{ij}$  فیلتر به دست می‌آید (Gonzales et al., 1992).

5. Frequency domain
6. Edge
7. Low Pass Filter
8. Gaussian Filter
9. Smooth



شکل ۲- الف) نمای از دوربین نصب شده در جلوی تراکتور و ب) زاویه نصب دوربین نسبت به افق



شکل ۳- نشان دهنده الف) تصویر رنگی، ب) تصویر خاکستری و پ) تصویر ارتقا یافته

و از ++C جهت ارزیابی الگوریتم و سامانه در حالت بلادرنگ<sup>۱</sup> استفاده شد.

### تصویر برداری، دریافت و ذخیره تصویر

برای تصویر برداری از یک دوربین وب کم<sup>۲</sup> (Logitech Quick Cam) با قابلیت شناسایی توسط سیستم عامل ویندوز استفاده گردید. زاویه نصب دوربین ۳۵-۳۰ درجه نسبت به افق و ارتفاع ۱ متر انتخاب گردید. عملیات تصویربرداری در دو مرحله انجام گرفت. مرحله اول جهت طراحی اولیه الگوریتم در مزارع دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز، در چندین زمان از طول روز (صبح، ظهر و عصر) انجام گرفت. در این حالت رزولوشن تصاویر ۶۴۰ در ۴۸۰ پیکسل بود. مرحله دوم تصویربرداری به صورت بلادرنگ برای ارزیابی کلی سامانه در مزرعه انجام گرفت که تصویر به صورت پیوسته به رایانه فرستاده و پردازش می‌شد. در هر دو حالت دوربین بر روی تراکتور سوار و عملیات تصویر برداری انجام می‌شد (شکل ۲).

### پیش پردازش و ارتقای کیفیت تصویر

هدف اصلی روش‌های ارتقا، پردازش تصویر است به صورتی که تصویر حاصل برای یک کاربرد خاص نسبت به تصویر اولیه مناسب‌تر باشد. روش‌های تشریح شده در این زمینه در دو گروه وسیع طبقه‌بندی می‌شوند. الف) روش‌های میدان مکان<sup>۴</sup> و

1. Real-Time
2. Webcam (Logitech QuickCam)
3. Image enhancement
4. Spatial domain

جهت عمودی و افقی انجام شود. نتایج شناسایی لبه‌ها در شکل (۴-پ) نشان داده شده است. با توجه به اساس طراحی الگوریتم، در تصویر حاصل از الگوریتم لبه‌یاب بیشترین نقاطی که در یک خط می‌باشند همان خط خاک‌ورزی شده در نظر گرفته می‌شود.

**استفاده از تبدیل هاف برای تشخیص مسیر مورد نظر**

به طور خلاصه، با اعمال این تبدیل مختصات قطبی خطوط صاف در تصویر به دست آمده از مرحله لبه‌یابی به دست می‌آید. البته این مختصات به راحتی قابل استخراج نمی‌باشد. زیرا خروجی تابع تبدیل، مقدار زاویه خط ( $\theta$ ) و فاصله آن از مرکز تصویر ( $\rho$ ) می‌باشد. خروجی تبدیل هاف در شکل (۵-الف) نشان داده شده است. این تبدیل باعث می‌شود تا مختصات نقاطی که بر روی یک خط راست قرار دارند در یک نقطه تصویر شوند (شکل ۵-ب). بنابراین مقدار روشنایی آن نقطه از تصویر خروجی تبدیل هاف که نسبت به بقیه نقاط بیشتر به نظر می‌رسد مختصات ( $\rho, \theta$ ) همان خطی است که تمام نقاط روی آن خط بر روی این نقطه تصویر شده است. حال با داشتن این مختصات می‌توان خط به دست آمده را بر روی تصویر اصلی رسم کرد که نتیجه نهایی در شکل (۵-پ) نشان داده شده است.

ضرایب  $f_{ij}$  با استفاده از تابع گوسین (رابطه ۱) به دست می‌آید و بدین صورت عمل می‌کند که ضرایب نزدیکتر به مرکز ماتریس وزن<sup>۱</sup> بیشتری داشته باشند سپس میانگین مقادیر المان‌های جدید به جای پیکسل میانی (پیکسل مورد نظر) گذاشته می‌شود. شکل (۴-ب) نشان دهنده فیلتر پایین گذر اعمال شده بر روی تصویر ارتقاء یافته شکل (۴-الف) می‌باشد.

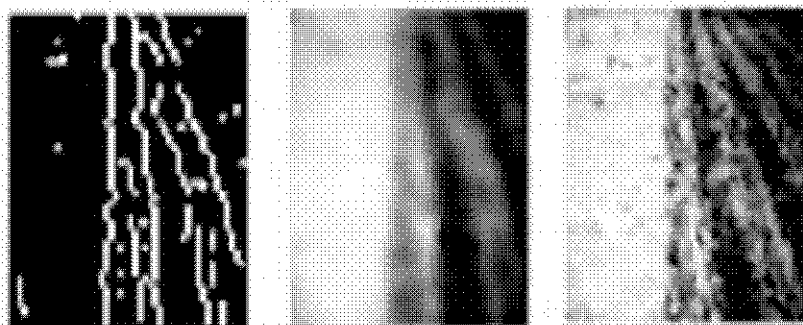
$$G(x, y) = e^{-\frac{(x^2+y^2)}{2\sigma^2}} \tag{1}$$

$\sigma^2$  واریانس ماتریس در نظر گرفته شده و  $x$  و  $y$  مختصات ( $i, j$ ) هر پیکسل ماتریس مورد نظر می‌باشد.

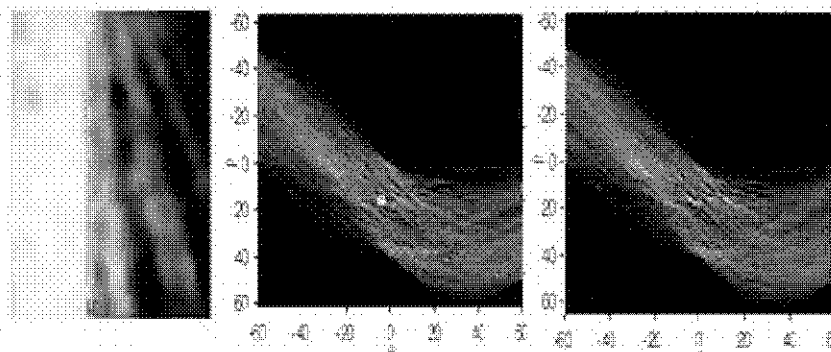
**آشکار سازی لبه‌ها<sup>۲</sup>**

برای شناسایی لبه‌ها یک شیوه ساده ولی موثر و سریع بر پایه تغییرات مقادیر تراکم رنگ خاکستری در دو پیکسل مجاور هم، پیشنهاد شده است. بدین صورت که تراکم هر پیکسل با پیکسل کناری مورد بررسی قرار می‌گیرد و در صورت بیشتر بودن از یک مقدار آستانه به عنوان لبه در نظر گرفته می‌شود. برای افزایش دقت، تعقیب تراکم هر پیکسل می‌تواند در دو

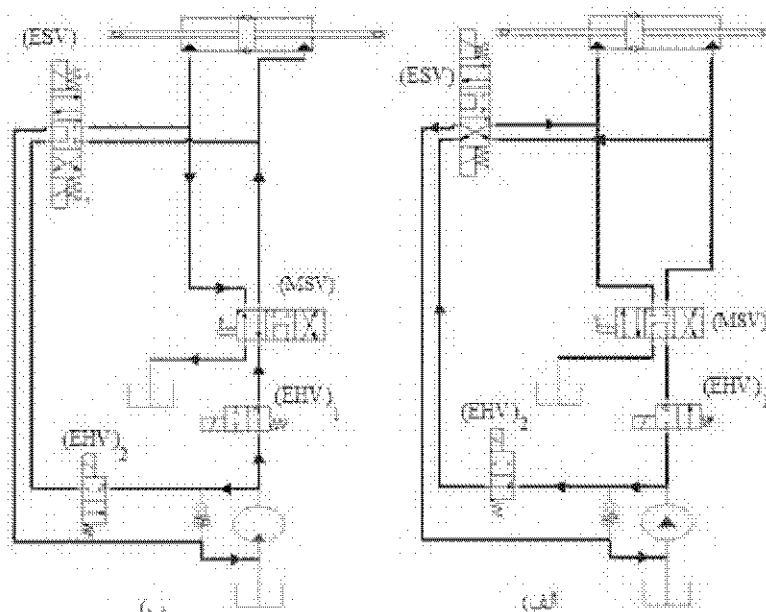
1. Weight
2. Edge detection



شکل ۴- الف) تصویر ارتقا یافته، ب) فیلتر پایین گذر (۳×۳) اعمال شده بر روی تصویر ارتقا یافته برای حذف نویزها و پ) الگوریتم لبه یاب اعمال شده بر روی تصویر



شکل ۵- الف و ب) خروجی تبدیل هاف و پیدا کردن پر نورترین نقطه (محور افقی  $\theta$  و محور عمودی  $\rho$ ) و پ) نتیجه نهایی حاصل تبدیل برای شناسایی مسیر مورد نظر



شکل ۶- الف) مدار الحاقی هیدرولیکی در حال گردش به راست ب) مدار اصلی فرمان در حال گردش به چپ،

ESV: شیر کنترل مرکز باز الکتریکی<sup>۱</sup> مطابق با نوع مکانیکی تراکتور، MSV: شیر کنترل مرکز باز مکانیکی<sup>۲</sup>، EHV<sub>1</sub>: شیر هیدرولیک الکتریکی همیشه باز<sup>۳</sup> و EHV<sub>2</sub>: شیر هیدرولیک الکتریکی همیشه بسته<sup>۴</sup>

1. Electrical open center spool valve (Hyster)
2. Mechanical open center spool valve
3. Electrical normal open valve
4. Electrical normal close valve

عکس در زمانی که سیستم الحاقی عمل می‌کند سیستم اصلی فرمان از مدار خارج می‌شود. مدار الکترونیکی با استفاده از نرم افزار (6.8) Altium Designer به صورت گرافیکی طراحی و بعد از شبیه‌سازی ساخته و بر روی تراکتور نصب شد. شکل (۷) نقشه مدار الکترونیکی طراحی را نشان می‌دهد. مدار الکترونیکی برای راه اندازی شیرهای هیدرولیک ساخته شد.

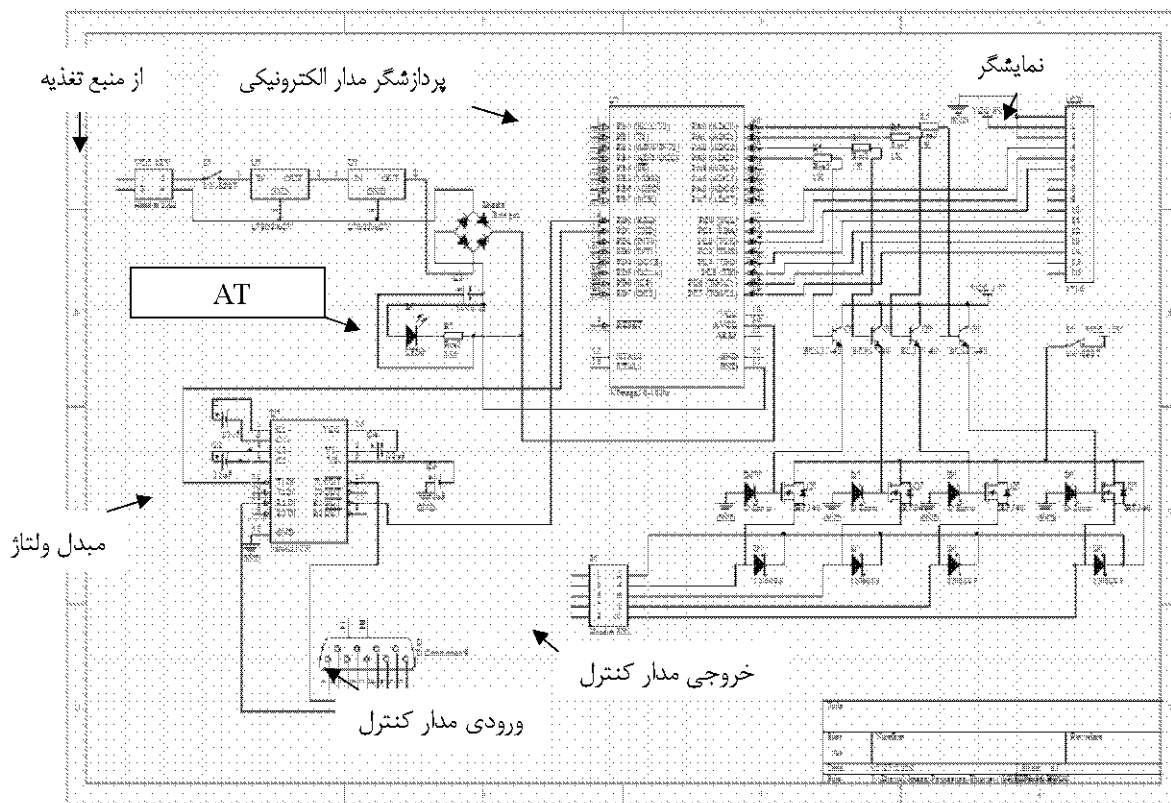
#### ارزیابی سامانه

عامل مهمی که به نوعی منجر به بروز خطای اولیه در تشخیص خط توسط الگوریتم می‌شود عبارت است از خطای LPE، وقتی عمل عکس‌برداری انجام می‌گیرد احتمال این وجود دارد که الگوریتم، خط به دست آمده که محور خط کاشت محسوب می‌شود را نتواند دقیقاً روی همان خط واقعی ردیف کاشت تشخیص دهد. برای به دست آوردن چنین خطایی می‌توان در تکرارهای مختلف برای چندین حالت تابش نور خورشید (صبح، ظهر، عصر و به صورت عمود در تابستان و مایل در زمستان)، خط کاشت روی زمین را که در راستای دوربین و در وسط تصویر قرار داده شده را با خط به دست آمده توسط الگوریتم مقایسه کرد و خطای منتجه را که نوعی پیش خطا<sup>۶</sup> محسوب می‌شود، به دست آورد.

باتوجه به اینکه خط وسط تصویر خط مبنا در نظر گرفته شده است، اطلاعات به دست آمده از خط حاصل از تبدیل هاف (مختصات انتها و ابتدای خط به دست آمده) را با این خط مقایسه کرده و اختلاف به دست آمده همان میزان جابه جایی می‌باشد که بر حسب تعداد پیکسل بیان می‌شود. این مقدار انحراف در طول زمان عملیات مزرعه باید در حدود صفر نگه داشته شود تا تراکتور در مسیر درست هدایت شود. طول بازویی که دوربین بر روی آن نصب شده است (وسط تصویر تا خط مرکزی تراکتور) تعیین کننده فاصله چرخ جلوی تراکتور از ردیف کشت شده قبلی می‌باشد. این فاصله در ابتدای عملیات توسط راننده تنظیم شده و تا انتهای عملیات توسط سامانه باید ثابت نگه داشته می‌شود.

#### طراحی و ساخت مدارهای هیدرولیکی و الکترونیکی برای ارزیابی مزرعه‌ای

در این پروژه سیستم عملگر<sup>۵</sup> از نوع هیدرولیک انتخاب و با استفاده از نرم افزار Automation Studio (5.0) طراحی، شبیه‌سازی و بر روی سیستم فرمان تراکتور نصب شد (شکل ۶). بدین صورت که در زمان عمل کردن سیستم اصلی فرمان، سیستم الحاقی از مدار به صورت الکترونیکی خارج می‌شود و بر



شکل ۷- مدار الکترونیکی طراحی شده برای اخذ فرمان از پردازشگر و کنترل مسیر حرکت تراکتور

دو عامل سرعت پیشروی و زاویه فرمان‌گیری چرخ بر RT و DE از آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در پنج تکرار برای RT و سه تکرار برای DE استفاده شد. با توجه به اینکه سرعت مطلوب برای اکثر ادوات تهیه زمین و کاشت بین  $4 \text{ km.h}^{-1}$  تا  $11 \text{ km.h}^{-1}$  می‌باشد، بنابراین سامانه ساخته شده با سه سرعت ۴،  $7/5$  و  $11 \text{ km.h}^{-1}$  (حرکت تراکتور در کنار ردیف کاشت شده بدون عمل کاشت)، و سه زاویه فرمان‌گیری چرخ فرمان (۱۰ و ۱۶ و  $20/5$  درجه) در مزرعه مورد ارزیابی قرار گرفت. منظور از زاویه فرمان‌گیری، تغییر زاویه چرخ فرمان به ازای هر دستور مدار کنترل، نسبت به حالت اولیه است که چرخ در آن قرار دارد. به ازای حداقل زمان باز شدن (۱۰۰ میلی‌ثانیه) شیر هیدرولیک الکتریکی (ESV)، چرخ فرمان ۱۰ درجه تغییر موقعیت می‌داد بنابراین سه زمان ۱۰۰، ۱۵۰ و ۲۰۰ میلی‌ثانیه به صورت آزمایشی برای باز شدن ESV در نظر گرفته شد که منجر به تغییر زاویه چرخ فرمان به ترتیب در سه زاویه ۱۰ و ۱۶ و  $20/5$  درجه نسبت به موقعیت اولیه شد. سرعت الگوریتم پردازش تصویر به گونه‌ای است که به ازای هر  $0/3$  ثانیه یک تصویر پردازش و دستور به مدار کنترل ارسال می‌کند. بدین معنی که برای سرعت پیشروی  $4 \text{ km.h}^{-1}$  تقریباً سه دستور به ازای هر متر مسافت طی شده و برای سرعت  $11 \text{ km.h}^{-1}$  یک دستور به مدار کنترل فرستاده شود.

همچنین دو عامل مهم و اصلی دیگر که نقش بسیار مهمی در ارزیابی کلی سامانه دارند عبارتند از:

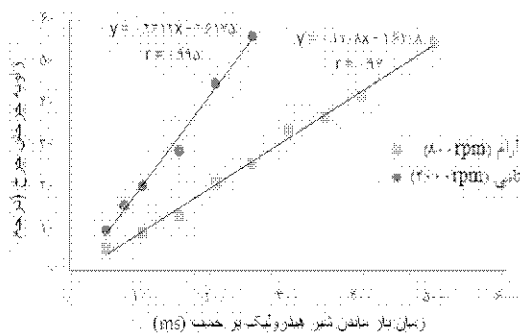
۱- RT: پس از شناسایی خط توسط الگوریتم در صورت نیاز، دستور به قسمت کنترل فرستاده می‌شود. قسمت محرک، سیستم فرمان را به کار می‌اندازد تا فاصله با خط ردیف کاشت به میزان تعیین شده برسد. با توجه به سرعت حرکت تراکتور و همچنین انحراف از حالت مطلوب از سوی دیگر، الگوریتم دوباره این تغییر فاصله نسبت به خط مرکز ردیف کاشت را شناسایی کرده و سیستم فرمان را به کار می‌اندازد. این جابه‌جایی آنقدر ادامه می‌یابد تا مقدار انحراف از آستانه مورد نظر برای الگوریتم کمتر شود و دیگر الگوریتم آن را به عنوان جابه‌جایی تشخیص ندهد. مدت زمانی که از ابتدای گرفته شدن عکس طول می‌کشد تا چرخ به مکان مطلوب مورد نظر برسد زمان پاسخ RT است. اگر نمودار جابه‌جایی افقی وسیله مورد نظر نسبت به زمان رسم شود می‌توان RT را مشخص کرد (شکل ۸).

۲- DE: این فاصله همان طور که روی شکل (۸) مشخص است برابر است با فاصله مرکز چرخ تا فاصله مناسب برای عملیات مورد نظر (مثلاً ۳۰ سانتی‌متر فاصله برای کاشت ردیفی). هرچه این فاصله به مقدار از پیش تعیین شده نزدیکتر باشد الگوریتم از دقت بالاتری برخوردار خواهد بود. بنابراین می‌توان با محاسبه فواصل به دست آمده در تکرارهای مختلف، عامل مناسبی برای ارزیابی الگوریتم ارائه کرد. برای بررسی تاثیر

نور در شناسایی خط توسط الگوریتم تاثیر نداشته است. با توجه به مشاهدات تجربی انجام شده، این مقدار خطای الگوریتم را می‌توان ناشی از صاف نبودن لبه خاک به هم خورده از خاک به هم نخورده و یا ریزش لبه شیار ایجاد شده توسط شیار بازکن کارنده بیان کرد.

### نتایج مربوط به زاویه چرخش فرمان به ازای زمان‌های مختلف باز ماندن شیر هیدرولیک

با افزایش دور موتور، دور پمپ هیدرولیک و دبی آن افزایش پیدا می‌کند. بنابراین میزان فرمان‌گیری چرخ نیز به ازای یک زمان ثابت باز بودن خروجی مقسم هیدرولیک با افزایش دور موتور افزایش پیدا می‌کند. در دو دور آرام (۸۰۰rpm) و دور نامی (۲۰۰۰rpm) موتور، به ازای زمان‌های مشخص، میزان فرمان‌گیری چرخ بر حسب درجه به دست آمد. شکل (۹) میزان تغییر زاویه چرخ بر حسب درجه در زمان‌های مشخص باز بودن شیر هیدرولیک را نشان می‌دهند.

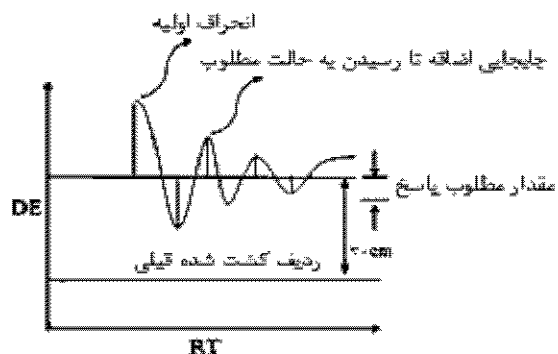


شکل ۹- زاویه فرمان‌گیری چرخ بر حسب زمان باز بودن شیر هیدرولیک در دور نامی (۲۰۰۰rpm) و دور آرام موتور (۸۰۰rpm)

### نتایج مربوط به ارزیابی مزرعه‌ای کل سامانه

#### زمان پاسخگویی سامانه (RT)

در ابتدا برای اندازه‌گیری زمان پاسخگویی سامانه، چرخ تراکتور به اندازه نصف عرض تصویر (۰/۶ متر بر روی زمین) خارج از مسیر مورد نظر قرار داده شد، به طوری که خط تشخیص داده شده در انتهای یک سمت تصویر قرار گیرد. بعد از شروع حرکت تراکتور و ثابت شدن سرعت آن در سرعت معین، دکمه شروع به کار سامانه کمک راننده زده می‌شود. زمانی که انحراف به وجود آمده به صفر برسد یعنی خطی که الگوریتم تشخیص می‌دهد درست در وسط تصویر قرار گیرد را زمان پاسخگویی سامانه گویند. با داشتن سرعت پیشروی تراکتور و مسیر طی شده توسط تراکتور (اثر چرخ بر روی زمین) تا چرخ در مسیر مورد نظر قرار گیرد، می‌توان زمان پاسخگویی سامانه را به دست آورد. نمودار مربوط به داده‌های به دست آمده برای زمان پاسخگویی در شکل (۱۰) آورده شده است.



شکل ۸- زمان پاسخگویی و نمودار جابه‌جایی افقی چرخ

## نتایج و بحث

### نتایج مربوط به ارزیابی الگوریتم

مقدار خطای LPE در ارزیابی الگوریتم برای ۳۰ تصویر که به طور تصادفی انتخاب شده‌اند در جدول (۱) آورده شده است. برای به دست آوردن خطای تشخیص خط الگوریتم ابتدا میزان خطا بر حسب تعداد پیکسل به دست آمد سپس با توجه به عرض تصویر، به سانتی‌متر تبدیل شد. با توجه به اینکه عملیات کاشت در زمین دیسک زده انجام شده و بقایای گیاهی در سطح خاک وجود نداشته است با این حساب عامل بقایای گیاهی در نظر گرفته نشد و فقط عامل موقعیت تابش نور خورشید مورد بررسی قرار گرفته شده است که در جدول (۲) آمده است.

#### جدول ۱- نتایج LPE برای ردیف کار در سه زمان عملیات در سه تکرار

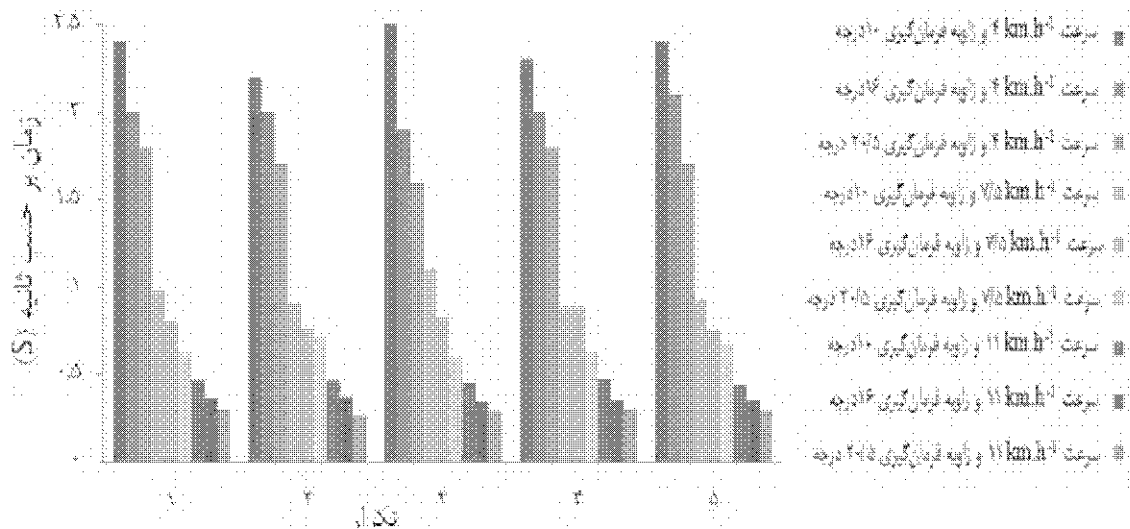
میزان بقایای گیاهی	بدون بقایای گیاهی		
	عصر	ظهر	صبح
وضعیت تابش خورشید			
میانگین خطای شناسایی (cm)	±۱/۲۶	±۱/۲	±۱/۲۸
انحراف معیار	۱/۱۲۸	۱/۱۰	۱/۲

#### جدول ۲- جدول تجزیه واریانس عامل زمان عملیات بر معیار خطی تشخیص خط

منابع تغییرات	تشخیص خط			
	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	F <sub>s</sub>
زمان عملیات	۰/۰۸۹	۲	۰/۰۴۴	۰/۱۲۷
خطای آزمایشی	۳۰/۳۶۷	۸۷	۰/۳۴۹	
مجموع	۳۰/۴۵۶	۸۹		

ns- عدم وجود اختلاف معنی داری بین سطوح مختلف تیمار

از جدول‌های (۱) و (۲) می‌توان به این نتیجه رسید که میانگین خطای تشخیص خط الگوریتم در طول روز در محدوده ±۱/۷۶ می‌باشد و همچنین عامل زمان عملیات یا میزان تابش

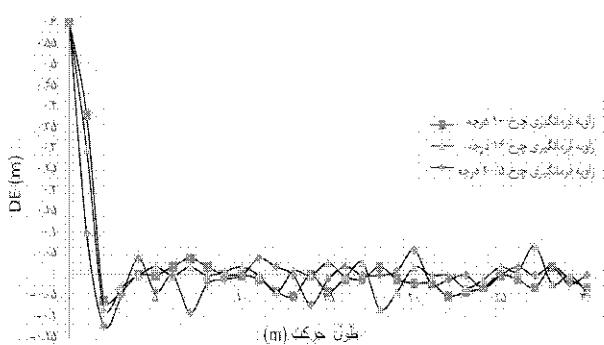


شکل ۱۰ - نمودار زمان پاسخگویی سامانه در سرعت ۷/۵، ۴ و ۱۱ km.h<sup>-1</sup> در سه زاویه فرمان‌گیری چرخ ۱۰، ۱۶ و ۲۰/۵ درجه در پنج تکرار

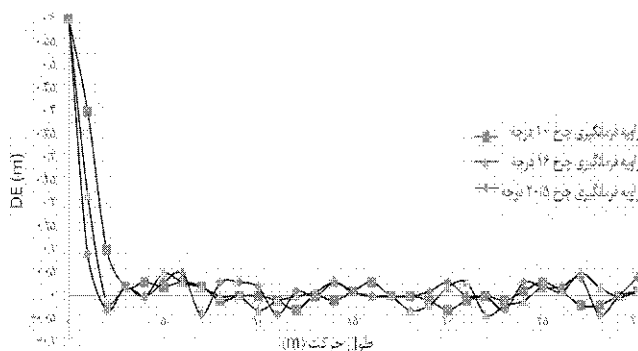
جدول ۳- جدول تجزیه واریانس تاثیر عوامل مختلف سرعت پیشروی و زاویه فرمان‌گیری چرخ بر مقدار زمان پاسخگویی

Sig	F <sub>s</sub>	میانگین مربعات	درجه آزادی	مجموع مربعات	منابع تغییرات
**	۴۱۸۸	۱۲/۰۵۳	۲	۲۴/۱۰۶	سرعت پیشروی
**	۱۳۱/۴۲	۰/۳۷۸	۲	۰/۷۷	زاویه فرمان‌گیری چرخ
**	۳۴/۵۱۲	۰/۰۹۹	۴	۰/۳۹	سرعت×زاویه فرمان‌گیری چرخ
		۰/۰۰۳	۳۶	۰/۱۰۴	خطای آزمایشی
			۴۴	۷۰/۴۸۲	مجموع

\*\* اختلاف معنی دار بین سطوح مختلف تیمار در سطح معنی داری ۱٪



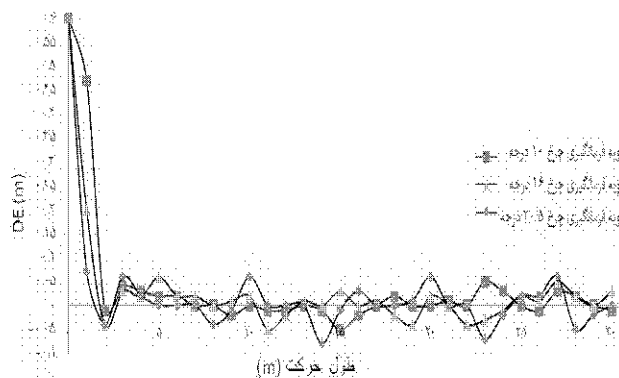
شکل ۱۳- نمودار انحراف از مورد نظر چرخ در سرعت ۱۱ km.h<sup>-1</sup> و زوایای مختلف فرمان‌گیری



شکل ۱۱- نمودار انحراف از مسیر مورد نظر در سرعت ۴ km.h<sup>-1</sup> و زوایای مختلف فرمان‌گیری

نتایج تجزیه واریانس عوامل سرعت پیشروی و زاویه فرمان‌گیری چرخ بر معیار زمان پاسخگویی نیز در جدول (۳) نشان داده شده است.

بنابر تجزیه و تحلیل‌های انجام شده در قسمت فوق تاثیر عوامل مختلف سرعت و زاویه فرمان‌گیری چرخ بر مقدار زمان پاسخگویی در سطح ۱٪ معنی‌دار شده است. طبیعی به نظر می‌رسد که با افزایش سرعت و زاویه فرمان‌گیری چرخ به سمت مسیر مورد نظر، زمان رسیدن به آن کاهش می‌یابد. در هنگام انجام عملیات در مزرعه اگر حساسیت قسمت کنترل الکترونیکی



شکل ۱۲- نمودار انحراف از مسیر مورد نظر در سرعت ۷/۵ km.h<sup>-1</sup> و زوایای مختلف فرمان‌گیری



اثر متقابل آن با سرعت پیشروی و زاویه فرمان‌گیری چرخ معنادار شده است. دلیل معنادار نشدن تاثیر بازه حساسیت بر زمان پاسخگویی را می‌توان حداقل در نظر گرفتن این فاصله و همچنین سرعت پیشروی کم تراکتور در نظر گرفت.

#### انحراف از مسیر مورد نظر (DE)

داده‌های به دست آمده برای انحرافات به وجود آمده در مسیر مورد نظر در سه سرعت ۴ و ۷/۵ و ۱۱ کیلومتر بر ساعت و همچنین برای سه زاویه فرمان‌گیری چرخ فرمان ۱۰، ۱۶ و ۲۰/۵ درجه در جدول (۵) و در شکل‌های (۱۱) تا (۱۳) نشان داده شده است.

صفر در نظر گرفته می‌شد، حتی اگر انحرافی نیز در مسیر وجود نمی‌داشت، زاویه فرمان‌گیری چرخ به طور دائم تغییر می‌کرد برای حذف این مشکل بازه حساسیت ۱ و ۲ سانتی‌متری از هر طرف در نظر گرفته شد. بازه حساسیت فاصله‌ای از خط مبنا است که در این فاصله با وجود انحراف خط مشخص شده در تصویر، مدار الکترونیکی هیچ دستوری به شیرهای کنترل هیدرولیکی ارسال نمی‌کند. در جدول (۴) نتایج تجزیه واریانس عامل حساسیت بر زمان پاسخگویی آورده شده است.

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که بازه حساسیت تاثیر معنی‌داری بر زمان پاسخگویی در موارد آزمون شده نداشته ولی

جدول ۴- جدول تجزیه واریانس تاثیر عامل بازه حساسیت بر مقدار زمان پاسخگویی

Sig	F <sub>s</sub>	میانگین مربعات	درجه آزادی	مجموع مربعات	منابع تغییرات
۰/۸۵۱ <sup>ns</sup>	۰/۰۳۵	۰/۰۰۰۹	۱	۰/۰۰۱	بازه حساسیت
۰**	۵۵۰/۰۷	۲/۰۹۴	۲	۴/۱۸۸	بازه حساسیت×سرعت پیشروی
۰**	۱۶۱/۵۸۹	۰/۶۱۵	۲	۱/۲۳۰	بازه حساسیت×زاویه فرمان‌گیری چرخ
۰**	۵۷۹/۲۱۸	۲/۲۰۵	۴	۸/۸۲	بازه حساسیت×سرعت پیشروی×زاویه فرمان‌گیری چرخ
		۰/۰۰۴	۷۲	۰/۲۷۴	خطای آزمایشی
			۹۰	۱۳۱/۷۱۷	مجموع

ns- عدم وجود اختلاف معنی‌داری بین سطوح مختلف تیمار

xx- اختلاف معنی‌دار بین سطوح مختلف تیمار در سطح معنی ٪۱

جدول ۵- عملکرد سامانه کمک راننده در ارزیابی مزرعه‌ای

سرعت پیشروی	زاویه فرمان‌گیری (درجه)	DE (m)	انحراف استاندارد	مسافت پایا بودن DE (m)
۴ km.h <sup>-1</sup>	۱۰	۰/۰۳	۰/۰۱۶	۰/۶-۰/۹
	۱۶	۰/۰۷	۰/۰۲	۰/۵۵-۰/۶۸
	۲۰/۵	۰/۰۹	۰/۰۲۸	۰/۴-۰/۶
۷/۵ km.h <sup>-1</sup>	۱۰	۰/۰۶	۰/۰۲۰۶	۰/۷-۱
	۱۶	۰/۰۷	۰/۰۲۷	۰/۶۵-۰/۸
	۲۰/۵	۰/۰۹	۰/۰۳۶۵	۰/۵-۰/۷۳
۱۱ km.h <sup>-1</sup>	۱۰	۰/۰۸	۰/۰۲۸	۱/۰۳-۱/۲
	۱۶	۰/۰۸	۰/۰۳۱۸۹	۰/۸۵-۱/۱
	۲۰/۵	۰/۰۹	۰/۰۳۷۸	۰/۸-۱/۱

اصلی آن را می‌توان افزایش DE بیان کرد. نتایج نهایی تجزیه واریانس مربوط به عامل‌های سرعت پیشروی، مقدار زاویه فرمان‌گیری چرخ و همچنین اثرات متقابل آنها بر مقدار DE در جدول (۶) آورده شده است.

همان‌طور که نتایج نشان می‌دهد اختلاف معنی‌داری بین سطوح مختلف عامل سرعت پیشروی در مقدار خطای DE در سطح ۰/۱ وجود دارد در صورتی که عامل زاویه فرمان‌گیری چرخ در خطای DE در سطح ۰/۵ تاثیر معنی‌داری نداشته است.

با توجه به نتایج به دست آمده برای DE در آزمایش‌های مزرعه‌ای، ماکزیم خطای کلی سامانه برابر و کمتر از ۹ سانتی‌متر اندازه‌گیری شده است. به طور کلی می‌توان بیان کرد که این خطا شامل خطای تشخیص خط الگوریتم، تاخیر در باز بستن شدن شیرهای هیدرولیک و خطای حرکت تراکتور در مزرعه با سطح ناهموار می‌باشد. حداکثر مسافت پایا بودن این خطا ۱/۲ متر اندازه‌گیری شد. این اندازه با افزایش سرعت پیشروی و زاویه چرخش چرخ افزایش پیدا کرده است که علت

حساسیت بر میزان DE آورده شده است.

جدول ۶- جدول تجزیه واریانس تاثیر عوامل مختلف سرعت و زاویه

فرمان گیری چرخ بر مقدار DE				
Sig	F <sub>s</sub>	میانگین مربعات	درجه آزادی	مجموع مربعات
.**	۷/۹۶۳	۰/۰۰۷	۲	۰/۰۱۳
۰/۰۷۵۶ <sup>ns</sup>	۰/۴۵	۰	۲	۰/۰۰۱
۰۰۰**	۰/۵۵۴	۰	۴	۰/۰۰۲
		۰/۰۰۱	۲۶۱	۰/۲۲۱
			۲۷۰	۰/۲۲۸

xx- اختلاف معنی دار بین سطوح مختلف تیمار در سطح معنی داری ۱٪

ns- عدم اختلاف معنی دار بین سطوح مختلف تیمار

عامل سرعت پیشروی در زاویه فرمان گیری چرخ نیز اثر متقابلی در مقدار معیار خطای DE در سطح ۰/۱ داشته است. نتایج را می توان بدین صورت تفسیر کرد که چون سرعت پردازش به ازای هر تصویر مقدار ثابتی است با افزایش سرعت پیشروی تراکتور به ازای هر متر مسافت طی شده کنترل کمتری بر هدایت تراکتور وجود خواهد داشت که خود باعث افزایش خطای DE می شود ولی با توجه به کوچک بودن تغییرات زاویه فرمان گیری چرخ تاثیری بر خطای DE در این بازه سرعت تست شده نداشته است. در جدول (۷) نتایج تجزیه واریانس عامل

جدول ۷- جدول تجزیه واریانس تاثیر عامل حساسیت بر مقدار DE و اثر متقابل بین سرعت پیشروی، زاویه فرمان گیری چرخ و میزان حساسیت

Sig	F <sub>s</sub>	میانگین مربعات	درجه آزاد	مجموع مربعات	منابع تغییرات
۰/۳۱۹ <sup>ns</sup>	۰/۹۹۵	۰/۰۰۱	۱	۰/۰۰۱	بازه حساسیت
۰/۳۷۴ <sup>ns</sup>	۰/۹۸۵	۰/۰۰۱	۲	۰/۰۰۲	بازه حساسیت × سرعت پیشروی
۰/۷۳۳ <sup>ns</sup>	۰/۳۱۲	۰	۲	۰/۰۰۱	بازه حساسیت × زاویه فرمان گیری چرخ
۰/۴۴۳ <sup>ns</sup>	۰/۹۳۵	۰/۰۰۱	۴	۰/۰۰۴	بازه حساسیت × سرعت پیشروی × زاویه فرمان گیری چرخ
		۰/۰۰۱	۵۲۲	۰/۵۱۸	خطای آزمایشی
			۵۴۰	۰/۵۵۰	مجموع

ns- عدم وجود اختلاف معنی داری بین سطوح مختلف تیمار

هدایت باعث حذف خطاهای اتمسفر نیز می شود. بر اساس تجزیه و تحلیل های انجام شده می توان به نتایج کلی زیر اشاره کرد:

- خطای شناسایی خط توسط الگوریتم در حالت های مختلف نور اختلاف معنی داری نداشته است و الگوریتم از نظر عملکرد، عملکرد خوبی از خود نشان داده است.

- سطوح عامل سرعت پیشروی و زاویه فرمان گیری چرخ باعث ایجاد اختلاف معنی داری در مقادیر زمان پاسخگویی الگوریتم شدند. اما عامل حساسیت تاثیر زیادی در این زمان نداشت و اختلاف معنی داری را در مقدار تیمارهای آزمایش مربوطه ایجاد نکرد. ولی تاثیر متقابل بازه حساسیت در سرعت پیشروی و زاویه فرمان گیری چرخ معنی دار شد.

- سرعت پیشروی در سطوح مختلف تفاوت معنی داری را در مقدار معیار DE ایجاد کردند ولی زاویه فرمان گیری چرخ در سه سرعت تست شده بی تاثیر بود. اما عامل حساسیت تاثیر زیادی در این خطا نداشت و اختلاف معنی داری را در مقدار تیمارهای آزمایش مربوطه ایجاد نکرد.

## REFERENCES

Benson, E. R., Reid, J. F. & Zhang, Q. (2001). Machine vision based steering system for agricultural combines. *ASAE*, Paper No. 01-1159.  
Gonzales, R. & Woods, R. (1992). *Digital Image Processing*, Prentice Hall.

همچنین نتایج تجزیه واریانس عامل حساسیت نشان داده است که بازه حساسیت ۱ و ۲ سانتی متر تاثیر معنی داری بر DE نداشته است و همانند تاثیر این عامل بر RT دلیل معنادار نشدن تاثیر بازه حساسیت را می توان حداقل در نظر گرفتن این فاصله، سرعت پیشروی کم تراکتور و سرعت پردازش بالای تصاویر در نظر گرفت.

## نتیجه گیری کلی

به طور کلی سامانه های کنترل GPS برای هدایت وسایل خودرو نیاز به اطلاعاتی دارند که از ماهواره دریافت می کنند بنابراین نیاز به آنتن های فرستنده-گیرنده و وسایل جانبی مربوط به خود دارند که هزینه های اولیه را به نوبه خود بالا می برند. همچنین مواردی مثل تعداد ماهواره های در دسترس سامانه و وضعیت اتمسفر ممکن است باعث خطا در عملکرد سامانه شوند. ولی در سامانه ماشین بینایی نیاز به چنین وسایلی الحاقی نیست و از اطلاعاتی که دقیقاً از محل خودرو مورد نظر و در نزدیکی آن به دست می آید استفاده می کند. این اطلاعات از دوربینی کوچکی که بر روی خودرو نصب شده است گرفته، پردازش و به واحد کنترل فرستاده می شود. این روش

Kise, M., Zhang, Q. & Rovira Mas, F. (2005). A Stereovision-based crop row detection method for tractor-automated guidance, *Biosystems Engineering*, 90 (4), 357-367.  
Lowenberg, J. & Boer, De. (1999). Potential for

Precision Agriculture Adoption In Brazil. Site Specific Management Center Newsletter, Purdue University.

Sogaard, H. T. & Olsen H. J. (2003). Determination of crop rows by image analysis without

segmentation, *Computers and Electronics in Agriculture*, 38, 141-158.

Stoll, A. & Dieterkutzbach, H. (2001). Guidance of a Forage Harvester with GPS. Institute for Agricultural Engineering, Hohenheim University, 70599 Stuttgart. Germany.

