طراحی ، ساخت و ارزیابی آشکارساز مسیریابی و هدایت خودرو با استفاده از سیستم ماهواره‌ای دقیق

احد انوری نیا[1*]،سید محمد رضا خادم[2]

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی بیوسیستم، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اقلید فارس

۲- عضو هئیت علمی گروه مهندسی بیوسیستم، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اقلید فارس

Ahad_anvarinia@yahoo.com

چکیده:

هدایت خودکار وسایل نقلیه اعم از جاده‌ای و غیره از موارد توجه صنایع در سال‌های اخیر است. روش‌های متفاوتی جهت این کار استفاده می‌شود که شامل دید ماشینی، هدایت ماهواره‌ای و انواع سنسورهای محیطی مختلف می‌باشد. در محیط‌های خارج از ساختمان و برای مسیرهای از پیش تعیین شده استفاده از هدایت ماهواره‌ای دقیق از کارایی مناسب برخوردار است. سیستم RTK GPS به دلیل قابلیت پیوسته و دائمی بودن داده‌ها، علاوه بر دقت بالا از سیستم‌های مطلوب می‌باشد. استفاده از GPS لزوم وجود یک پردازشگر دائمی در مجموعه سیستم ماهواره‌ای که به سادگی آن کمک کرده را از بین می برد ولی از دقت و کارائی آن تا حد زیادی می کاهد. هدف این پژوهش طراحی و ساخت یک آشکارساز مسیریابی و هدایت خودکار با استفاده از یک سیستم مکان یابی دقیق یا RTK GPS است که شامل دو جزء سخت افزار و نرم افزار است. در این پژوهش کاربردی، بکارگیری سیستم مکان‌یابی ماهواره‌ای در مسیریابی و آشکارسازی لحظه‌ای دقت مسیریابی، به صورت ۳ بعدی مورد بررسی قرار گرفته است. فاصله سه بعدی متحرک نسبت به مسیر سنجیده شده و به صورت رقومی و بصری اعلام می‌شود. مقدار فاصله یا انحراف از خط یا مسیر بر حسب سانتی‌متر در نرم افزار نشان داده می‌شود و بر روی سخت افزار مشخص می‌گردد به طوری که راننده مسیر خود را بتواند تصحیح کند.در ارزیابی برنامه و سخت افزار دقت و صحت داده های خروجی در مسیرهایی با طول مشخص و شعاع انحنای مختلف در جاده بررسی گردید. در این آزمایشات مشاهده گردید که در سرعت‌های بالا میزان دقت سیستم موقعیت یاب دقیق کم می‌گردد.

واژه‌های کلیدی: سیستم ماهواره‌ای دقیق، آشکارسازمسیر، هدایت خودکار

مقدمه:

با رشد روزافزون سامانه‌های ناوبری جهانی ماهواره ای (GNSS[1]) علاقه به استفاده از این سیستم در کنترل خودکار و سیستم‌های کشاورزی نیز افزایش یافته است. هدایت و مسیردهی خودکار و هوشمند خودروهای زمینی و هوایی نظامی، مسیر یابی، برنامه‌ریزی کامپیوتری انجام کار توسط ماشینهای عمرانی و همچنین بحث کشاورزی دقیق که حدوداً یک دهه در دنیا مطرح و استفاده از موقعیت

۱-Global Navigation System

یاب‌های ماهواره‌ای جایگزین‌های مناسبی برای سیستم‌های لیزری مورد استفاده در عملیات‌های کشاورزی و عمرانی که اکثراً دارای محدودیت‌های بسیاری گردیده است. در کشاورزی، ترجیحاً خودکارسازی ماشین‌ها نه‌تنها در ارتباط با هزینه‌های بالا برای نیروی انسانی می‌باشد به ویژه در شرایط آب‌وهوایی که کشاورزان اغلب وقت کمی برای کشت و برداشت دارند، مورد توجه است. در طی این دوره، وظایف خاص بصورت منظم باید تحت دوره‌ی زمانی فشرده برای سوددهی انجام شود. بصورت معمول این نتایج، بار کاری را در پی دارد که برای نیروی کار در دسترس سخت می‌باشد. یک مشکل مهم خودکارسازی که بسیاری از کشاورزان در آن مشترک هستند و این پژوهش با آن در ارتباط است، چالش‌مسیریابی خودکار می‌باشد. توسعه‌ی دستگاه‌های موقعیت‌یاب با استفاده از ماهواره، امروزه باعث شده تا کشاورزان به راحتی بتواند به محدوده وسیعی، برای انتخاب دستگاه موقعیت‌یاب تجاری تا سیستم های مکان یابی دقیق RTK GNSS[1] در سیستم‌های موقعیت‌یاب جهانی در دسترس داشته باشند، که نتیجه‌ی آن دقت سانتیمتری در مکان‌یابی می‌باشد. مقایسه‌ی راه‌حل‌های تجاری برای ناوگان خودکار برحسب دقت سخت می‌باشد. از این‌روکه فقدان یکنواختی در اطلاعات ارائه شده در شرکت‌های سازنده برحسب مقیاس ماشین‌های کنترل شونده که سرعت و انحراف خط سیر مرجع وجود ندارد. راهنمایی دقیق، فن آوری کلیدی و بهتری به نسب اکثر فن آوری دقیق سابق درکشاورزی می باشند. در عین حال، کاربرد نرخ متغییر کودها نیاز به جمع آوری داده های سیستمیک (برای مثال نمونه گری ناحیه یا شبکه خاک) و تحلیل داده ها (پیشنهاد کود می تواند بر اساس تست خاک و شناخت متغییرهای موقعیت ویژه مانند ارتفاع، شیب، نوع خاک و زهکشی باشد) قبل از استفاده ی موثر از کود دارد و نقشه ی آن باید ترسیم شود و کودها را می توان با نرخ متغییر به کار برد و راهنمای دقیق مانند ناوگان و آشکار ساز نوری یا سیستم های موازی مسیر سم پاشی می باشد.

راهنمایی دقیق نیز به عملیات تجهیزات اجازه می دهد در شرایط کم نور عمل کنند از این رو، توسعه ی ساعت‌های عملیات در هر دستگاه در روز انجام می شود. به علاوه ی مزایای خصوصی تناسب با کشاورز، جامعه ممکن است از طریق کاهش آلاینده‌های کشاورزی و در نهایت از طریق مزایای سیستم های راهنمای دقیق از این فرایند بهره ببرند. تا به امروز، چند تخمین از مزایای ویژه ی سیستم های راهنمایی دقیق استفاده کرده اند.

اوکانر و همکارانش (O'Connor *et al.*,1996) با استفاده از سیستم مکان یاب تفاضلی برروی یک نمونه ماشین کشاورزی، توانستند با استفاده از مسیری که قبلا مشخص شده بوده، خودرو در مسیر مورد نظر هدایت کنند. معادلات خطی حرکت خودرو و استفاده از نرم افزار MatLab® جهت برنامه کنترل سیستم از جمله نکات مورد توجه این تحقیق بوده است. هرناندز و همکارانش(Hernandez *et al.*, 2003) در تحقیقی به بررسی کنترل خودکار فرمان اتومبیل توسط سیستم GPS و علائم مغناطیسی پرداختند و با در نظر گرفتن انحنای جاده توانستند دقت مناسبی در حرکت جانبی خودرو و کنترل عرضی اتومبیل بدست بیاورند.در این پژوهش الگوریتم های کنترلی جهت شبیه‌سازی انحنای مسیر طراحی گردید. ژانگ و همکاران (Zhang *et al.*, 2004) در بیان نتایج تحقیقات خود

۱-Real Time Kinematic GNSS

این طور بیان داشتند که در اصل، کنترل ناوبری با استفاده از یک الگوریتم مسیر ردیابی برای تولید زاویه فرمان خودرو در هر نقطه بر اساس یک محاسبه خطای بین موقعیت فعلی و موقعیت مسیر آینده بکار می‌گیرد و نتایج ردیابی مسیر آنها ، انحراف کمتر از ۰/۱ متر در هنگام ردیابی مسیر مستقیم یا مسیرهای با انحنای کم در یک سرعت ۳/۵ متر بر ثانیه را نشان داد. جیزبرچت و همکارانش(Giesbrecht *et al*., 2005)یک الگوریتم تعقیب مسیر خالص برای ردیابی مسیر ، همراه با یک الگوریتم تشخیص مانع برای افزایش توانایی ناوبری خودرو را بکار بردند. آنها گزارش دادند که روش تعقیب مسیر خالص در خودرو بدون سرنشین موثر بود ، اما استفاده از موقعیت GPS و عملکرد مسیریابی ناپایدار با توجه به تغییر ناگهانی در سیگنال هایGPS ، نشان می دهد که نیاز به اطلاعات پایدار بیشتری در خصوص موقعیت و محدوده ها مورد نیاز است. هوانگ و همکاران(Huang *et al*., 2010) مطالعه شبیه سازی را بر اساس روش تعقیب مسیر خالص و شبکه عصبی به منظور توسعه یک الگوریتم مسیر ردیابی مناسب برای کنترل یک تراکتور کشاورزی در زمان دور زدن در انتهای مزرعه را انجام دادند. نتایج شبیه سازی نشان داد که روش تعقیب مسیر خالص توسعه یک روش بهینه و عملی برای کنترل دور زدن در انتهای مزرعه ماشین آلات کشاورزی است. سولئا و همکاران(Solea *et al*., 2007) یک کنترل مسیر ردیابی و شبیه سازی مسیر زیر سیستم برای وسایل نقلیه مستقل بر پایه حالت کنترل لغزشی، را طراحی کردند. این روش کنترل عملکرد خوبی خصوصا زمانی که یک خطای اولیه بزرگ موقعیت وارد سیستم می‌شود را نشان دادند. چو و همکاران (Chu *et al*., 2013) از یک روش کنترل فازی برای تعیین زاویه فرمان مناسب برای یک کنترل کننده فرمان، بر اساس اطلاعات وضعیت، متشکل از موقعیت و خطای جهت گیری استفاده کرده‌اند. مدل حرکتی از دیفرانسیل یک وسیله نقلیه برای شبیه سازی پایداری کنترل از طریق شبیه سازی آزمون ایجاد شده بود. روش ارائه شده ردیابی عملکرد رضایت بخشی را ارائه کرد. استول و همکاران(Stoll *et al*., 2000) ماشین های برداشت علوفه مجهز به یک الگوریتم مسیر ردیابی و سیستم فرمان خودکار برای تولید بر اساس اطلاعات موقعیت را دنبال مسیرهای به دست آمده از سیستمGPS RTK , یا (زمان واقعی سینماتیک) را مورد آزمایش قرار دادند. نگوچی و همکاران(Noguchi *et al*., 2001) یک RTK-GPS ، ژیروسکوپ فیبر نوری(FOG) ، و واحد اندازه گیری اینرسی (IMU) را به عنوان حسگر هدایت و سنسور ترکیب الگوریتم را به منظور تعیین ولتاژ بایاس FOG و جبران خطاهای مکان در زمان واقعی بکار بردند. به طور مشابه توسط نگازاکا (Nagasaka *et al*., 2004)، هدایت مستقل سیستم بر اساس-RTK GPSو سیستم FOG برای عملیات نشا کاری در مزرعه برنج طراحی شد. افزایش بیشتر از ۱۵٪ به سرعت تراکتور و ظرفیت زمین می تواند هزینه‌ی اولیه را جبران کند(Heidman *et al*., 2003). این باعث افزایش دقت قراردهی نوارهای حاوی کودهای شیمیایی در نزدیکی گیاهان می‌شود و در عین حال با اضافه کردن تکنولوژی‌های دیگر مانند آبیاری‌های زیرسطحی مناسب این در افزایش عملکرد تولید را به ۲۰٪ نیز می‌رساند(Gan-Mor *et al*., 2001) که البته از لحاظ اقتصادی هم دارای مزایای زیادی است. این تکنولوژی‌ها بدون RTK- GPS عملی نیستند که البته تولید را سریعتر ممکن می‌سازند. علاوه‌بر این استفاده از راهنمای -RTK GPS در کنار زمین‌ها و در زمین‌های ناهموار و تپه مانند فرسایش را کمتر می‌کند و سود بهتری را حاصل می‌شود(Gan-Mor *et al*., 1997). آزمایشاتی توسط عابدین و همکاران(Abidin *et al*., 2002) در زمین گوجه‌فرنگی صورت گرفت و تأکیدی داشت

برفاصله‌ی وسیله‌ی مربوط به این شکل که اگر بر روی ۵ سانتیمتری تنظیم شود تقریباً ۴ درصد گیاهان گوجه آسیب می‌رساند و اگر در فاصله‌ی ۷/۵ سانتیمتری تنظیم شود آسیبی نمی‌رساند. این تحقیق فرضیه‌ی وجود رابطه‌ای بین ابزار طولانی‌تر و درصد انحراف بیشتر را تائید می‌کند. اکثر شرکت های تراکتورسازی در حال عرضه ی سیستم هدایت خودکار مبتنی بر RTK- GPS می باشند که به عنوان گزینه ای برای هدایت تراکتور به کار می روند. اطلاعات موقعیت از RTK- GPS را می توان برای راهنمایی و سایر کاربری های از قبیل تعیین نقشه بذرپاشی و کنترل تردد و ترافیک و کنترل خاک‌ورزی به کار برد(Reeder, 2002). احسانی (Ehsani *et al*., 2004a,b) به بررسی دقت و یا خطای سیستم کف ساز بین راننده های متفاوت در کاربرد سم‌پاشی برای دو اپلیکاتور مرسوم در شرایط مزرعه‌ای پرداختند .آنها دریافتند اختلاف شاخصی را در پوشش ردیف‌های کنار هم وجود دارد. که بین۰/۶ تا۲۶ درصد همپوشانی و تا حدود ۵٪ عدم پوشش در مزعه مشاهده گردید. آنها در ادمه تحقیقات خود استفاده از لایت بار و هدایت ماهواره‌ای را توصیه کرده‌اند. تحت شرایط شبیه سازی مطلوب سم پاشی کارایی ۲ تا ۳٪ با استفاده از سیستم راهنمای با لایت بار[۱] در مقایسه با کف‌ساز توسط کاربر مجرب مقایسه شد. خطای زیاد تا ۱۰٪ برای سیستم های کف ساز نیز مشاهده شد. (Ehsani *et al*., 2002).

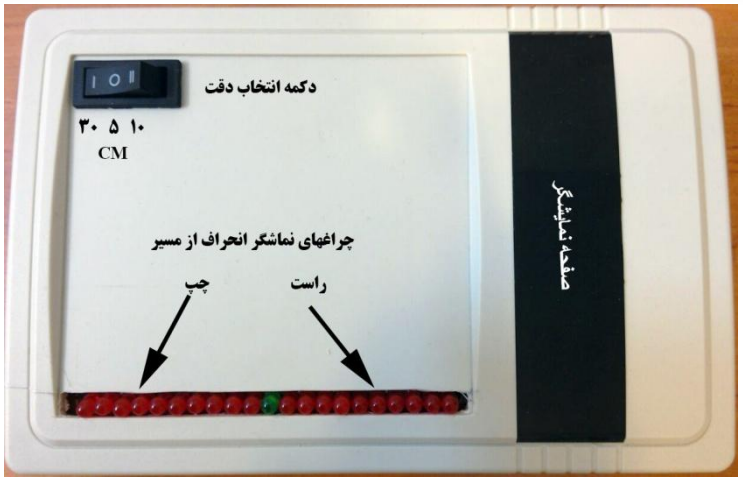
در پژوهش حاضر به بررسی هدایت دقیق برروی مسیرهای از پیش مشخص شده با استفاده از هدایت ماهواره‌ای دقیق پرداخته‌ایم.

مواد و روش ها:

طراحی انجام این پژوهش بدین شکل انجام شد که یک مسیر مستقیم به طول ۲۰۰ متر و یک مسیر قوسی به شعاع ۳۵ متر و طول قوس ۶۵ متر جهت آزمون به عنوان مرجع در نظر گرفته شد. شیب این مسیرها ۴٪ بوده است. جهت تولید این مسیرها از دوربین توتال استیشن استفاده گردید. سامانه مکان‌یابی دقیق ماهواره‌ای بکاررفته، یک دستگاه RTK GNSS مدل SOUTH S82T با دقت اسمی ۳ تا ۵ سانتی متر دقت مسطحاتی است. هدف از انتخاب این مسیرها، سنجش هدایت دقیق ماهواره ناشی از عواملی مثل سرعت و لغزش جانبی در مسیرهای منحنی بوده است.

جهت آشکار سازی انحراف از مسیر دستگاهی که مقادیر این انحراف ها را به صورت عددی و بوسیله چراغ نشان داده شد طراحی، برنامه ریزی و ساخته شد شکل(۱).

۱-light bar



شکل ۱- سخت افزار نشان دهنده میزان انحراف از مسیر و ارتفاع

اصول ارزیابی این پژوهش انحراف از مسیر مرجع است بدین ترتیب که مسیر توسط خودرویی با سرعت مختلف در چند تکرار پیموده شد. و گاها خطای عمدی محاسبه شده مانند انحراف از مسیر حرکت، رو به عقب به سیستم اعمال گردید تا صحت داده ها دریافتی از نرم افزار و سخت افزار سنجیده شود. جهت سنجش انحراف از مسیر، فرض شد که مسیر از تعداد زیادی نقطه تشکیل شده بجای این که مسیر یک خط یا یک کمان با معادله مشخص در نظر گرفته شود. این فرض کمک می‌کند که مسیرهای ۳ بعدی با اشکال غیر منتظم با سرعت بالاتری مورد پردازش قرارگیرد که در راستای روش نظر به جلوLook Ahead می باشد. براین اساس خودرو موقعیت فعلی خود را نسبت به نقطه قبلی و نقطه بعدی مسیر می‌سنجد و در این لحظه با کل مسیرکاری ندارد. در این راستا مسیر توسط RTK GNSS در حالت استاتیک با سرعت بسیار کم مورد نقطه برداری با بسامد بالا دو مرحله قرار گرفت و مسیری با تعداد زیادی نقطه نزدیک به ۴۰۰۰ نقطه ایجاد گردید که به صورت میانگین می‌توان گفت که فاصله هر نقطه حدود ۵ سانتی متر است. همچنین این مسیر توسط دوربین توتال استیشن به صورت داده برداری پیوسته مورد برداشت قرارگرفت که هر دو مسیر توتال و RTK GPS با دقت میانگین ۵ سانتی متر با هم انطباق داشت. داده های نقاط براساس فرمت UTM و قابل تبدیل به NEZ ذخیره گردید. با داشتن طول و عرض جغرافیایی دو نقطه می‌توان فاصله آن دو نقطه را از طریق فرمول‌های زیر بدست آورد. در نرم افزار نوشته شده برای محاسبه فاصله دو نقطه از این فرمول ها استفاده شده است.

$$a = \sin^2(\Delta\varphi/2) + \cos\varphi_1 \cdot \cos\varphi_2 \cdot \sin^2(\Delta\lambda/2) \quad (۱)$$

$$c = 2 \,.\, a\tan 2\left(\sqrt{a}, \sqrt{(1-a)}\right) \quad (۲)$$

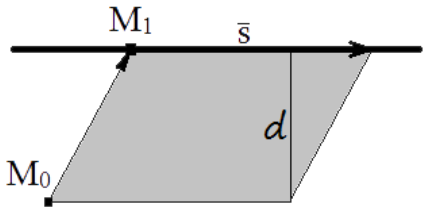
$$d = R \,.\, C \quad (۳)$$

در این فرمول d فاصله دو نقطه بر حسب متر و φ عرض جغرافیایی و λ طول جغرافیایی و R شعاع کره زمین است.(شعاع کره زمین ۶۳۷۱۰۰۸۷۷/۱۴۱۵۰۵۹ متر است)

شکل۲- فاصله دو نقطه با داشتن طول و عرض جغرافیایی

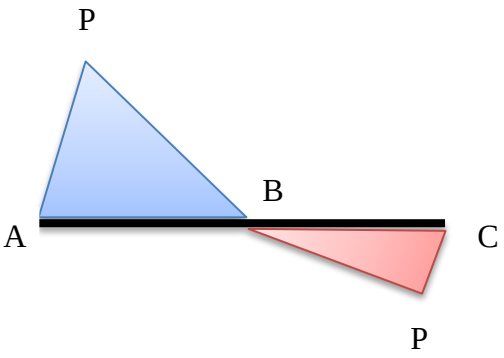
اگرمختصات $M_0(x_0,y_0,z_0)$ یک نقطه در فضا و مختصات $M_1(x_1,y_1,z_1)$ یک نقطه روی خط l و $\bar{s} = \{m, n, p\}$ بردار خط l فاصله بین نقطه M_0 و خط l از طریق فرمول زیر بدست می‌آید.

$$d = \frac{|\overrightarrow{M_0M_1} \times \bar{s}|}{|\bar{s}|} \qquad (۴)$$



شکل ۳- فاصله نقطه تا خط در فضا

انحراف از مسیر به دو صورت که سمت راست و چپ مسیر و همچنین میزان آن تعریف می‌شود. جهت محاسبه انحراف از مسیر شاخصی بدین ترتیب تعریف شد که نقطه فعلی محل استقرار دستگاه با نقطه قبلی و بعدی مسیر تشکیل یک مثلث می‌دهد. هر چه مکان فعلی دستگاه به مسیر نزدیک تر باشد طبعا مساحت مثلث کوچک تراست و برعکس شکل(۴).



شکل ٤- موقعیت فعلی دستگاه- خط مسیرABC

با توجه به مدل نقطه‌ای ارائه شده در این پژوهش به جای مدل خطی، در هر تکرار و سرعت زمانی که مجموع مساحت ها در طول مسیر کمتر باشد بدین معنی است که متحرک مسیر نزدیک‌تری را نسبت مسیر اصلی پیموده است. آزمون ها در سرعت های ۵،

۱۰،۱۵،۲۰ کیلومتر در ساعت برای هر دو مسیر مستقیم و قوسی انجام پذیرفت. جهت محاسبه هر مساحت با توجه به نرخ دریافت اطلاعات از RTK GPS که برابر ۵ داده در ثانیه است، میانگین مساحت ها در فاصله دو نقطه از مسیر مورد استفاده قرار گرفت. جهت نمایش لحظه‌ای داده ها به کاربر توسط دستگاه ساخته شده فاصله نقطه فعلی برحسب سانتی متر توسط نرم افزار محاسبه و به صورت عددی و همچنین به صورت تابعی از فاصله به وسیله تعداد چراغ روی دستگاه نمایان می‌شد. بعلاوه جهت انحراف از مسیر یعنی در سمت چپ یا راست بودن متحرک نسبت به مسیر تعیین و به کاربر توسط حروف Rو L همچین با چراغ‌های مجزا نشان داده میشود. در ضمن در صورتی که دقت و اعتبار داده های RTK GPS در محدوده مجاز به دلیل کم شدن تعداد محاوره و قطع سیگنال و غیره رخ دهد پیام خطا مشاهده شده و عملیات متوقف می‌شود.

جهت کار با نرم افزار و سخت افزار آشکار ساز مسیر یابی و هدایت خودکار با استفاده از سیستم مکان یابی دقیق پس از اتصال پورت RS-232 سخت افزار به لپ تاب و تأمین برق ۵ ولت سخت افزار که از سه طریق برق فندک خودرو و شارژر خانگی و کابل USB و رعایت فاصله حداکثر ۱۰ متری لپ تاب با ROVER دستگاه RTK GPS جهت اتصال به بلوتوث دیتا گیری و هدایت مسیر میسر می باشد.

۱- ابتدا شماره پورت COM ورودی و خروجی دستگاه را در نوار ابزار Control Panel و پنجره Ports در قسمت Input Port و Outpot Port وارد کرده و بر روی روی کلید یا آیکن Open کلیک کرده و منتظر می‌شویم تا گزینه Close ظاهر گردد.

۲- تعداد ماهواره را در پنجره Satellite Number مشخص می‌کنیم.

۳- در پنجره Application گزینه Map Collection را انتخاب می‌کنیم.

۴- در صورتی که سیستم مکان یابی دقیق در دسترس نبود و کاربر بخواهد از GPS استفاده کند می‌تواند با کلیک بر روی گزینه Ignore(Sol-Diff) به مرحله بعد برود.

۵- کلیک بر روی گزینه Run و شروع دیتا برداری

۶- در صورت خطا ندادن دستگاه بعد از طی مسیر مورد نظر دوباره روی گزینه Run کلیک کرده و نقشه مسیر آموزش داده شده به نرم افزار را ذخیره می‌کنیم.

۷- برای بدست آوردن فاصله از مسیر اولیه ابتدا در نوار ابزار Control Panel در پنجره Distance Requirment ابتدا فایل ذخیره شده مسیر اولیه را در پنجره Open Target MAP باز می‌کنیم.

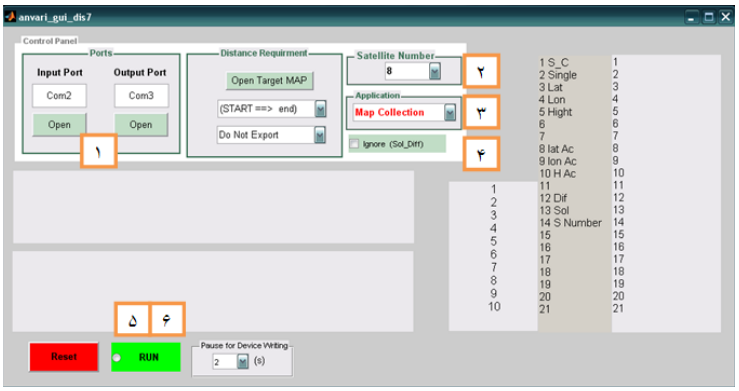
۸- پس از تایید برنامه باید جهت حرکت در مسیر نسبت به پیمایش اولیه را در زبانه در نظر گرفته شده انتخاب می‌کنیم که شامل شروع از ابتدا به انتها یا از انتها به ابتدا می‌باشد. انتخاب یکی از گزینه های start==>end یا end==>start لازم است.

۹- خروجی برنامه می‌تواند هم در صفحه برنامه نشان داده شود و هم به سخت افزار ارسال شود که این انتخاب در زبانه Export to Device و Do Not Export امکان پذیر است.

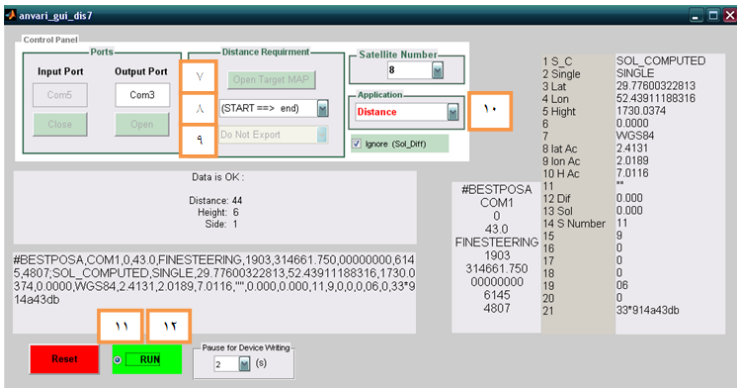
۱۰- در پنجره Application گزینه Distance را انتخاب می‌کنیم.

۱۱- بر روی دکمه یا آیکون Run کلیک کرده و دیتا برداری را شروع می‌کنیم.

۱۲- پس از شروع دیتا برداری مقادیر فاصله و اختلاف ارتفاع در برنامه و سخت افزار نشان داده می‌شود. پس از کلیک دوباره بر روی گزینه Run مسیر جدید ذخیره می‌گردد.



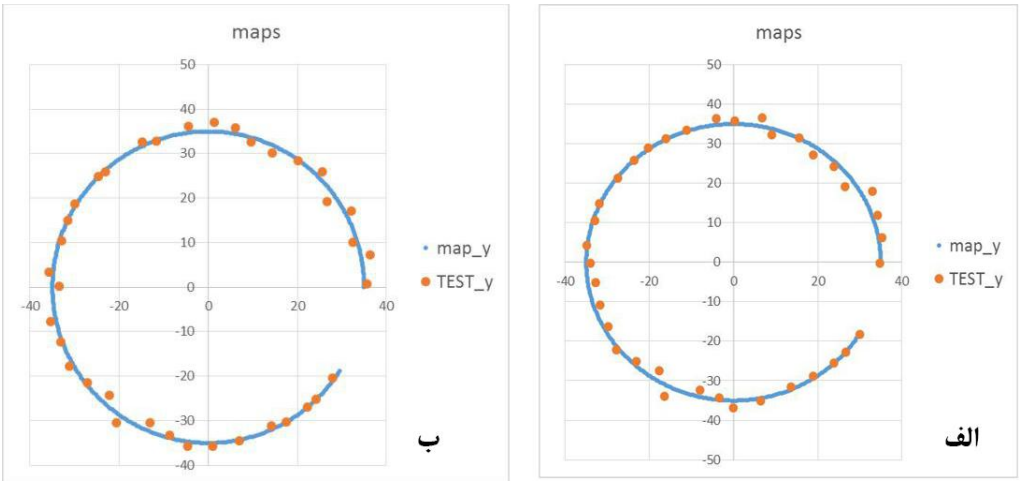
شکل۵-برنامه آشکار ساز مسیریاب در مرحله آموزش مسیر



شکل٦-برنامه آشکار ساز مسیریاب در مرحله آزمایش مسیر

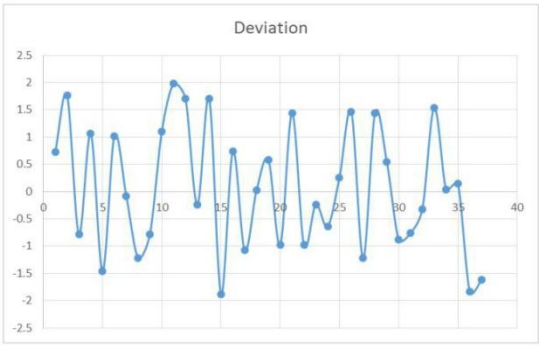
نتایج و بحث:

پس از آزمون های انجام شده نتایج مورد بررسی قرارگرفت شکل زیر نمونه داده های جمع آوری شده در مسیر منحنی برای دو سرعت مختلف را نشان می‌دهد.

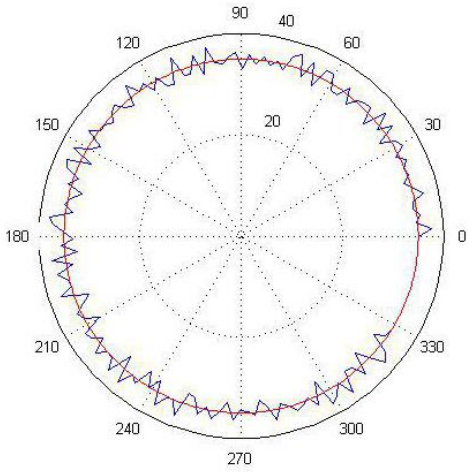


شکل۷:انحراف از مسیر منحنی در الف ۱۰ کیلومتر و ب ۵ کیلومتر در ساعت

مشاهده می‌شود با افزایش سرعت از ۵ به ۱۰ کیلومتر به میزان ۱۲٪ انحراف از مسیر افزایش یافته است.



شکل۸: انحراف از مسیر افقی در قسمتی از مسیر برحسب سانتی متر



شکل۹:مثلث های تشکیل شده در اثر انحراف از مسیر قوسی

جدول۱: مقایسه میزان انحراف از مسیر در مسیر مستقیم و قوسی

	میانگین میزان انحراف از مسیر مرجع	
	مسیر مستقیم	مسیر قوسی
سرعت 5km/h	4%	8%
سرعت 10km/h	7%	12%
سرعت 15km/h	11%	15%
سرعت 20km/h	16%	19%

نتیجه گیری کلی:

در این آزمایشات مشاهده گردید که در سرعت‌های بالا میزان دقت سیستم موقعیت یاب دقیق کم می‌گردد. هر چه سرعت بالاتر رود به دلیل ثابت بودن نرخ داده دهی سیستم موقعیت یاب دقیق و همچنین افزایش میزان خطای راننده در دیدن لایت بار و تصحیح مسیر و کم بودن زمان واکنش راننده و جابه جایی بیشتر وسیله نقلیه این دقت کم می‌گردد. همچین این روند افزایش انحراف ازمسیر در مسیر منحنی به دلیل حس نیروی گریز از مرکز و سرش جانبی نسبت به مسیر مستقیم مشهود تراست

لذا پیشنهاد می‌گردد که خروجی برنامه و سخت افزار به یک سامانه هدایت خودکار شامل عملگرهایی در جهت هدایت اتوماتیک وسیله نقلیه داده شود تا این خطا به حداقل برسد و همچنین از حسگر های دیگر نظیر اینرسی و Yaw نیز استفاده گردد. همچنین پیشنهاد میشود در زمان هدایت خودکار از نرخ بالاتر داده ها و با سرعت کم جهت هدایت متحرک استفاده شود

منابع:

Abidine, A. Z., Heidman, B. C., Upadhyaya, S. K., & Hills, D. J. 2002. Application of RTK GPS based auto-guidance system in agricultural production. ASAE Paper Nº 021152–ASAE. St Joseph MI.

Chu, J., Li, H., Cui, P., Qiang, T., Ruijun, L. 2013. Fuzzy control of AGV based on vision based in path tracking. Int. Res. J. Eng. Sci. Technol. Innov. 2, 57–64.

Ehsani, M. R., Sullivan, M., Walker, J. T., & Zimmerman, T. L. 2002. A method of evaluating different guidance systems. In 2002 ASAE Annual Meeting (p. 1). American Society of Agricultural and Biological Engineers.

Ehsani, M. R., Sullivan, M., & Zimmerman, T. 2004a, April. Field evaluation of the percentage of overlap for crop protection inputs with a foam marker system using real-time kinematic (RTK) GPS. In Proceedings of the 60th Annual Meeting of The Institute of Navigation (pp. 366-371).

Ehsani, M. R., Upadhyaya, S. K., & Mattson, M. L. 2004b. Seed location mapping using RTK GPS. Transactions of the ASAE, 47(3), 909.

Gan-Mor, S., Ronen, B., Josef, S., & Bilanki, Y. 1996, May. Guidance of automatic vehicle for greenhouse transportation. In International Conference on Greenhouse Technologies 443 (pp. 99-104).

Gan-Mor, S., & Clark, R. L. 2001. DGPS-based automatic guidance–implementation and economical analysis. In 2001 ASAE Annual Meeting (p. 1). American Society of Agricultural and Biological Engineers.

Giesbrecht, J., Mackay, D., Collier, J., & Verret, S. 2005. Path tracking for unmanned ground vehicle navigation. DRDC Suffield TM, 224.

Heidman, B. C., Abidine, A. Z., Upadhyaya, S. K., Hills, D. J., & Robert, P. C. 2003. Application of RTK GPS based auto-guidance system in agricultural production. In Proceedings of the 6th International Conference on Precision Agriculture and Other Precision Resources Management, Minneapolis, MN, USA, 14-17 July, 2002. (pp. 1205-1214). American Society of Agronomy.

Hernandez, J. I., & Kuo, C. Y. 2003. Steering control of automated vehicles using absolute positioning GPS and magnetic markers. IEEE Transactions on Vehicular Technology, 52(1), 150-161.

Huang, P., Luo, X., & Zhang, Z. 2009, October. Headland turning control method simulation of autonomous agricultural machine based on improved pure pursuit model. In International Conference on Computer and Computing Technologies in Agriculture (pp. 176-184). Springer Berlin Heidelberg.

Nagasaka, Y., Umeda, N., Kanetai, Y., Taniwaki, K., & Sasaki, Y. 2004. Autonomous guidance for rice transplanting using global positioning and gyroscopes. Computers and electronics in agriculture, 43(3), 223-234.

Noguchi, N., Reid, J. F., Zhang, Q., Will, J. D., & Ishii, K. 1998. Development of robot tractor based on RTK-GPS and gyroscope. In 2001 ASAE Annual Meeting (p. 1). American Society of Agricultural and Biological Engineers.

O'Connor, M., Bell, T., Elkaim, G., & Parkinson, B. 1996. Automatic steering of farm vehicles using GPS. Precision Agriculture, (precisionagricu3), 767-777.

Reeder, R. C. 2002. Maximizing Performance in Conservation Tillage Systems–an Overview. In 2002 ASAE Annual Meeting (p. 1). American Society of Agricultural and Biological Engineers.

Solea, R., & Nunes, U. 2007. Trajectory planning and sliding-mode control based trajectory-tracking for cybercars. Integrated Computer-Aided Engineering, 14(1), 33-47

Stoll, A., & Kutzbach, H. D. 2000. Guidance of a forage harvester with GPS. Precision Agriculture, 2(3), 281-291.

Zhang, Q., & Qiu, H. 2004. A dynamic path search algorithm for tractor automatic navigation. Transactions of the ASAE, 47(2), 639.