

ارزیابی سرعت پاسخ و مانورپذیری سامانه کنترل سرعت پیشروی دروگر نیشکر سری ۷۰۰۰ در دو حالت کنترل مکانیکی مرسوم و کنترل الکترونیکی

رحیم صیدی، محمداسماعیل خراسانی فردوانی*، محمدجواد شیخ‌داوودی و حسن مسعودی**

* نگارنده مسئول: گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، خوزستان، ایران.

تلفن: ۰۵۷ ۳۳۳۶۴۰۵۷ (۶۱)، پیام‌نگار: e.khorasani@scu.ac.ir

** به ترتیب: دانش‌آموخته کارشناسی ارشد مکانیک ماشین‌های کشاورزی؛ استادیار؛ دانشیار؛ و استادیار گروه مهندسی بیوسیستم، دانشگاه

شهید چمران اهواز

تاریخ دریافت: ۹۵/۴/۸؛ تاریخ پذیرش: ۹۵/۸/۱۶

چکیده

هدف از این پژوهش، ارزیابی سامانه کنترل الکترونیکی سرعت پیشروی دروگر نیشکر سری ۷۰۰۰ است، سامانه‌ای که برای افزایش سهولت کاربری ماشین برداشت نیشکر به کار گرفته شده است. برای تعیین قدرت مانورپذیری، آزمون فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی به اجرا درآمد. نوع سامانه کنترلی در دو سطح (کنترل مکانیکی و الکترونیکی) و سرعت موتور در سه سطح (۱۵۰۰، ۱۸۰۰ و ۲۱۰۰ دور بر دقیقه) به عنوان فاکتورهای طرح در نظر گرفته شدند. میزان خطای موقعیت مکانی در زمان توقف نسبت به خط مبنا در هر یک از سامانه‌های مختلف کنترلی به دست آمد. نتایج تجزیه واریانس نشان می‌دهد که خطای توقف دروگر در سامانه کنترل الکترونیکی سرعت پیشروی دروگر معنی‌دار است که نشانگر قابلیت بهتر مانورپذیری و بی‌تأثیر بودن تغییرات دور موتور (سرعت پیشروی) بر قدرت مانورپذیری دروگر مجهز به سامانه کنترل الکترونیکی است. در آزمون دوم، برای ارزیابی سرعت پاسخ سامانه‌های کنترل مکانیکی و الکترونیکی کنترل سرعت پیشروی، از طرح کاملاً تصادفی در پنج تکرار استفاده شد. در این آزمون نوع سامانه کنترلی و میزان تغییرات موقعیت اسپول شیرکنترل به عنوان فاکتورهای طرح در نظر گرفته شدند. بدین منظور در هر تکرار قدر مطلق خطای تغییرات ولتاژ پتانسیومتر (تغییرات سرعت)، که بیانگر تغییرات موقعیت موتور پله‌ای و در نتیجه تغییرات موقعیت اسپول شیر کنترل است، بررسی شد. نتایج به دست آمده از تجزیه واریانس نشان می‌دهد که تأثیر نوع سامانه بر سرعت پاسخ دارای اختلاف معنی‌داری در سطح اطمینان ۵ درصد است. سامانه الکترونیکی با خطای ۳/۳۸۸ سرعت پاسخ بهتری دارد.

واژه‌های کلیدی

جوی استیک، دروگر نیشکر، سامانه کنترل الکترونیکی، کنترل سرعت، موتور پله‌ای

مقدمه

راندمان کلی و مصرف سوخت موتور هاروستر کاهش یافته است (Mackin & Sheidler, 2012). پیشرفت‌های بنیادی در زمینه حسگرها، عملگرها، و فناوری سامانه‌های کنترل فرصتی برای پیشرفت کارایی سامانه‌های سنتی فراهم کرده است. این پیشرفت‌ها در زمینه کارایی و قابلیت‌های جدید سبب بالا رفتن ایمنی و بازدهی بهتر می‌شوند.

کارهایی در زمینه افزایش بازدهی موتور هاروستر و افزایش بازده آن انجام شده است. از آن جمله، در تحقیقی از دو موتور روی هاروستر استفاده شده که هر کدام برای راه انداختن بخش‌هایی از مکانیزم‌ها عمل می‌کنند و با استفاده از حسگرها دما کنترل می‌شوند. با این روش

کنترل، جوی استیک‌هایی با چند درجه آزادی هستند. جوی استیک‌های چند جهتی سبب پیشرفت اهرم‌های کنترل شده‌اند زیرا راننده می‌تواند بسیار آسان و به‌طور همزمان تمام مفاصل و اتصالات را به‌کار اندازد (Akyeampong *et al.*, 2014). حرکت به سمت استفاده از جوی استیک‌های الکترونیکی باعث کاهش اندازه جوی استیک و اعمال بار کمتر به راننده می‌شود و اجازه ایجاد تغییرات بیشتر در طراحی را می‌دهد (Winck *et al.*, 2015). سامانه‌های الکترونیکی بسیار انعطاف‌پذیرتر از اهرم‌بندی‌های مکانیکی هستند و بنابراین عملگرها می‌توانند با دکمه‌هایی متحرک و قابل انعطاف کنترل شوند که در هر جایی ممکن است قرار داده شوند؛ سامانه‌های الکترونیکی، در مقایسه با اهرم‌بندی‌های مکانیکی، قابلیت جابه‌جایی خیلی بیشتری دارند. این حالت می‌تواند نسبت به اهرم‌بندی‌های مرسوم، راحتی و ارگونومی بهتری داشته باشد (Gullberg, 2003). تحقیقات میدانی در کشت و صنعت‌های شرکت توسعه نیشکر و صنایع جانبی استان خوزستان، بررسی نظر کارشناسان و مقایسه عملکرد ماشین‌های جدید و قدیمی برداشت نیشکر بیانگر این موضوع است که پیاده‌سازی سامانه‌های کنترل الکترونیکی ماشین‌های برداشت نیشکر مزایای بسیار زیادی دارد که لزوم حرکت به سمت به‌کارگیری این تکنولوژی را یادآور می‌شود.

تکنولوژی سامانه‌های کنترل الکترونیکی یک اصطلاح عمومی و به این مفهوم است که سامانه‌های کنترل الکترونیکی جانشین سامانه‌های کنترل مکانیکی و هیدرولیکی شوند (Wilwert *et al.*, 2005). پیشرفت سامانه کنترل انتقال قدرت پیوسته متغیر (CVT)^۱ و استفاده از آن برای کنترل بازدهی سوخت موتور را آدچی و همکاران (Adachi *et al.*, 2006) بررسی کرده‌اند. این سامانه شامل یک موتور پله‌ای است که اسپول^۲ موجود در شیر هیدرولیکی را حرکت می‌دهد و نیروی جلوبرنده پولی

ماگلایز (Magalhães *et al.*, 2008) یک طرح اولیه از کنترل خودکار سرعت وسایلی که لازم است به‌صورت هماهنگ در عملیات کشاورزی کار کنند، ارائه دادند. که شامل یک تراکتور مینا و یک تراکتور که به‌طور موازی با آن حرکت می‌کند بود. در این طرح تراکتور پیرو با استفاده از منطق فازی و بر اساس سرعت تراکتور مینا حرکت می‌کرد. برای آزمایش‌ها تراکتور مینا به جی پی اس، انکودر، کامپیوتر و فرستنده رادیویی مجهز شده بود و جهت انجام ارزیابی سامانه، دو آزمون انجام شد: در ابتدا سرعت تراکتور مینا برای تراکتور پیرو شبیه‌سازی شد که با وجود خطای ۱/۳ درصد به نتایج خوبی رسیدند. در آزمایش دوم از هر دو تراکتور استفاده شد که تراکتور مینا سرعت‌های مختلفی را می‌گرفت و سرعت تراکتور دنباله‌رو مورد بررسی قرار گرفت که با خطای ۲/۹ درصد نتایج قابل قبول بود (Baldo & Magalhães, 2012; Magalhães *et al.*, 2008).

وانگ (Wang, 2005) یک عملگر برای یک سامانه انتقال قدرت اختراع کرد که شامل یک حالت انتخاب دستی و حالت انتقال قدرت الکترونیکی بود. این سامانه دارای یک موتور به همراه گیربکس بود. در حالت کنترل انتقال قدرت الکترونیکی موتور الکترونیکی یک گیربکس را می‌چرخاند. سامانه کنترل الکترونیکی انتقال قدرت یک ارتباط الکترونیکی را برای تغییر دنده ایجاد می‌کند. یک سیگنال الکترونیکی به سمت عملگر فرستاده می‌شود. دستگاه‌های انتقال قدرت الکترونیکی می‌تواند باعث کاهش فضای لازم برای دستگاه‌های انتقال قدرت، کاهش مشکلات نصب، کاهش هزینه‌ها و افزایش بازدهی گردد.

اهرم‌های با یک درجه آزادی ابزارهایی هستند که در روش‌های سنتی برای کنترل تجهیزات سنگین به‌کار می‌روند. هر اهرم یک فعالیت خاص را با حرکت از حالت طبیعی فعال می‌کند. میزان بازدهی این روش به شدت به مهارت راننده وابسته است. پیشرفت دیگری از اهرم‌های

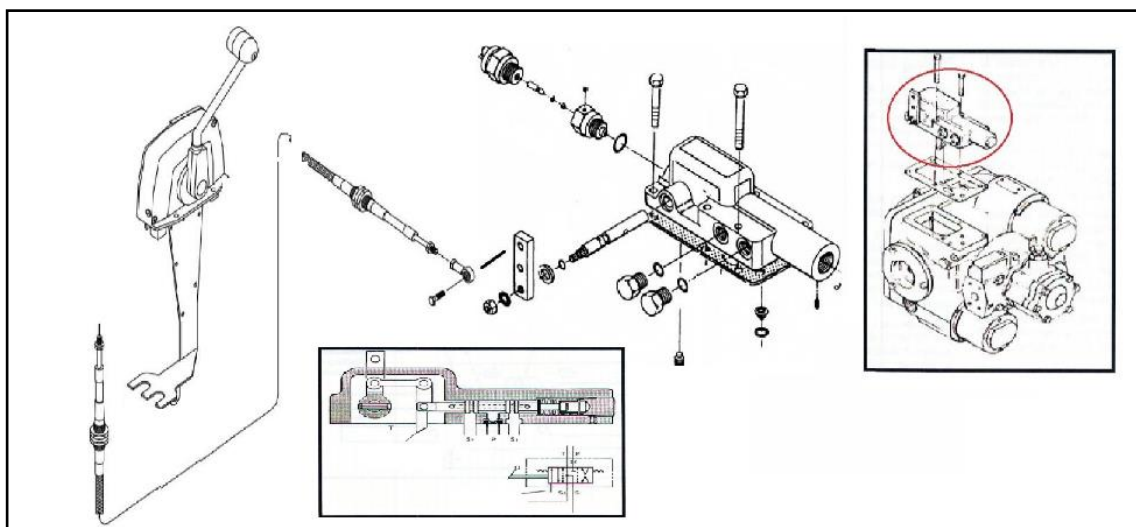
بود. در این سامانه، عمق شخم با استفاده از یک حسگر عمق شخم شامل چرخ پنجم و پتانسیومتر اندازه‌گیری می‌شود. در این طرح از یک عدد شیر کنترل از نوع چرخان که با موتور پله‌ای کنترل می‌شود، برای کنترل سامانه اتصال سه نقطه و عمق شخم استفاده گردید. نتایج آزمایش‌های کارگاهی نشان می‌دهد که سامانه کنترل الکترو هیدرولیکی در حالت پایداری، تغییرات عمق را به خوبی در محدوده ± 2 سانتی‌متر کنترل می‌کند. نتایج بررسی‌های مزرعه‌ای نشان می‌دهد که میانگین عمق شخم در سامانه الکترو هیدرولیکی با اختلاف معنی‌داری بیشتر از میانگین عمق شخم در سامانه مکانیکی است.

نحوه عملکرد سامانه کنترل مکانیکی

در سامانه کنترل مکانیکی، مطابق شکل ۱، راننده سرعت پیشروی دروگر را با جابه‌جایی اهرمی از داخل کابین تغییر می‌دهد. با جابه‌جایی اهرم توسط اهرم‌بندی مکانیکی، موقعیت اسپول شیر کنترل پمپ حرکت تغییر می‌کند که وظیفه کنترل دبی روغن ارسالی از سمت هیدروپمپ‌ها به سمت هیدروموتورهای حرکت را بر عهده دارند.

را برای رسیدن به نسبت دنده مورد نیاز تنظیم می‌کند. آزمایش‌ها نشان می‌دهد که استفاده از سامانه کنترل الکترونیکی می‌تواند نسبت دنده باکیفیت و دقیقی را ایجاد کند.

بالاکریشنن (Balakrishnan, 2013) موضوع کنترل الکترونیکی فرمان در تراکتورهای کشاورزی سامانه فرمان هیدرولیکی مرسوم در تراکتورهای کشاورزی را بررسی و یک عملگر الکتریکی شامل یک گشتاورسنج، موتور الکتریکی، و یک کنترلر را جانشین آن کرد. خدادادی و رشیدی (Khodadadi & Rashidi, 2013) پروژه‌ای اجرا کردند با نام طراحی و ساخت یک موتور احتراق داخلی بدون میل بادامک با سوپاپ هوشمند، که در آن جایگزینی یک سامانه الکتریکی به جای مکانیزم محرک مکانیکی سوپاپ‌ها به کاهش ضریب اصطکاک موتور انجامید. مراداصغرلو (Moradasgharlu, 2015) سامانه کنترل عمق شخم الکترو هیدرولیکی خودکار را به منظور کاهش اختلاف بین عمق شخم واقعی و عمق شخم موردنظر طراحی کرد و ساخت. این سامانه دارای حسگر عمق شخم، کنترل‌کننده منطقی برنامه‌پذیر، موتور پله‌ای و درایور آن، شیر کنترل و یک صفحه نمایشگر برنامه‌پذیر



شکل ۱- نمای برش خورده شیر کنترل موجود روی پمپ حرکت

ارگونومیک و ابتکاری فراهم می‌کند تا سرعت پیشروی دروگر به صورت الکترونیکی کنترل شود. در این سامانه، یک جوی استیک جایگزین اهرم مکانیکی کنترل سرعت پیشروی شده است که راننده با جابه‌جایی جوی استیک پالس‌هایی را ایجاد و به سمت میکروکنترلر می‌فرستد و میکروکنترلر با توجه به برنامه و الگوریتم کنترلی که از قبل برای آن طراحی شده است پالس‌های مربعی مورد نیاز را برای کنترل موتور پله‌ای به سمت درایور موتور پله‌ای ارسال می‌کند که سبب حرکت موتور پله‌ای با سرعت و جهت معین می‌شود. در این راستا، الگوریتم کنترلی مورد نظر پس از طراحی به زبان C روی میکروکنترلر پیاده‌سازی شده است. زمانی که از رباتیک در کشاورزی استفاده می‌شود، موضوع ایمنی یکی از مهم‌ترین مباحث به‌شمار می‌رود. در این سامانه، جهت محدود کردن میزان چرخش موتور پله‌ای و در نتیجه جابه‌جایی اسپول شیر کنترل پمپ‌های حرکت از یک پتانسیومتر استفاده می‌شود که مستقیماً به انتهای شفت موتور پله‌ای متصل است و با جابه‌جایی موتور پله‌ای میزان ولتاژ خروجی از پتانسیومتر تغییر می‌کند و این ولتاژ متغیر به سمت میکروکنترلر ارسال می‌شود. میکروکنترلر پس از تبدیل این مقدار آنالوگ به دیجیتال با توجه به محدوده تعیین شده در برنامه چرخش موتور پله‌ای را کنترل می‌کند. شماتیک عملکرد سامانه کنترل سرعت پیشروی دروگر نیشکر در شکل ۲ نشان داده شده است.

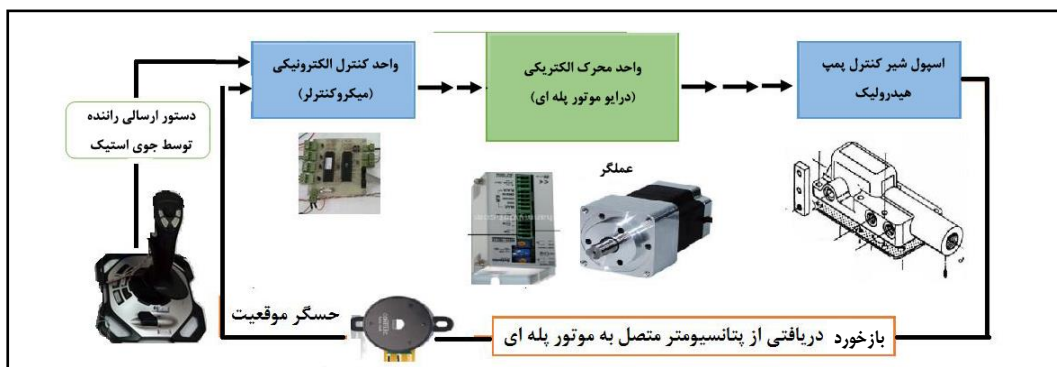
طی کردن مسیر طولانی جهت کنترل و جای‌گیری اهرم‌بندی‌های مکانیکی کنترل سرعت پیشروی، شرایطی سخت برای تعمیر و نگهداری این اهرم‌بندی‌ها ایجاد کرده است. همچنین، با وجود اصطکاک و لقی در بین این اهرم‌بندی‌ها، راننده نیروی مضاعفی را برای جابه‌جایی اهرم‌ها صرف می‌کند. تعویض و سرویس هر ساله این اهرم‌بندی‌های مکانیکی، شرایطی سخت برای تعمیر و نگهداری ایجاد می‌کند و سبب افزایش هزینه‌ها می‌گردد.

مواد و روش‌ها

سامانه جدید طراحی شده شامل بخش‌های زیر است؛ جوی استیک الکترونیکی جهت ارسال دستورات راننده به میکروکنترلر، میکروکنترلر جهت مدیریت تصمیم‌سازی لحظه‌ای و کنترل زاویه چرخش موتور پله‌ای، مکانیزم‌های اهرمی و موتور پله‌ای به‌منظور اعمال گشتاور و ایجاد زاویه چرخش مناسب روی اسپول شیر کنترل پمپ‌های حرکت و درایور جهت راه‌اندازی موتور پله‌ای. در ادامه به تشریح عملکرد و طراحی بخش‌های مختلف ذکر شده می‌پردازیم.

عملکرد سامانه جدید کنترل الکترونیکی

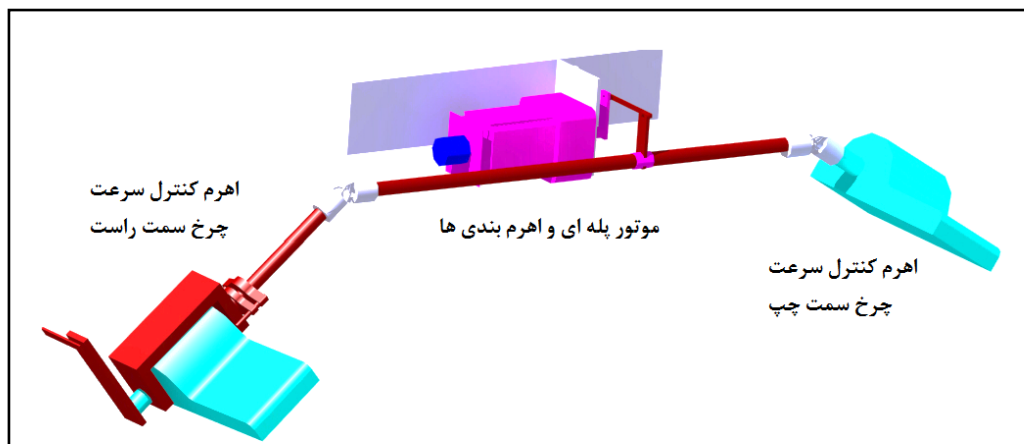
در این پژوهش، یک سامانه جدید مکانیزاسیون که دارای یک مکانیزم با ۲ درجه آزادی است به‌کار رفته است به‌طوری‌که شرایط کنترل تمام عوامل حرکت را به‌صورت



شکل ۲- شماتیک عملکرد سامانه کنترل سرعت پیشروی دروگر نیشکر

اهرم‌بندی ساده استفاده شده است. از دیگر مزایای ایجاد این اهرم‌بندی ساده، امکان کنترل مکانیکی سرعت پیشروی تنها با اتصال یکی از سیم لیورها است که سادگی و کاهش هزینه تعمیرات را در پی دارد.

برای تغییر موقعیت اسپول موجود در شیر کنترل پمپ حرکت، شیرها با یک اهرم‌بندی به یکدیگر متصل می‌شوند تا تنها با یک موتور پله‌ای اسپول شیرهای کنترل جابه‌جا و کنترل شود. بنابراین از طرح یک

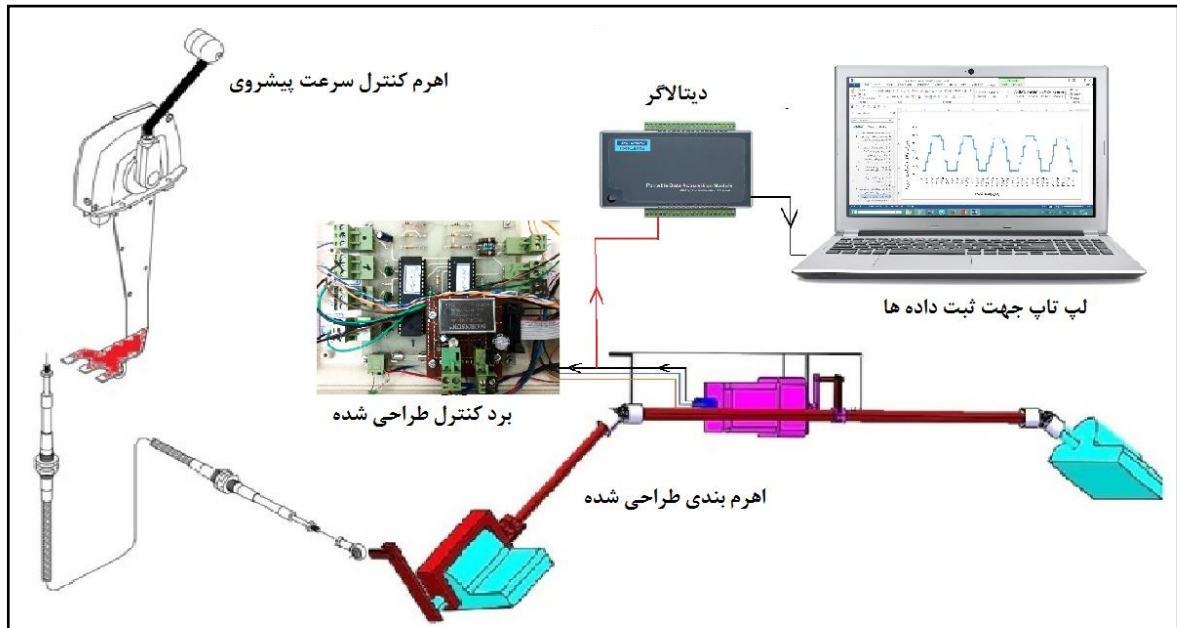


شکل ۳- اهرم‌بندی طراحی شده جهت اتصال شیرهای کنترل پمپ‌های حرکت

شرایط یکسان، سرعت پاسخ سامانه کنترلی مکانیکی و سامانه کنترل الکترونیکی ارزیابی شود. سرعت پاسخ سامانه بیان‌کننده اختلاف بین لحظه جابه‌جایی اهرم کنترل سرعت پیشروی و مشاهده تغییرات سرعت (ولتاژ متغیر پتانسیومتر) در قسمت خروجی است. روش ارزیابی به این صورت است که تغییرات ولتاژ پتانسیومتر متصل به موتور پله‌ای (تغییرات سرعت)، که بیان‌کننده موقعیت موتور پله‌ای و موقعیت اسپول شیرکنترلر است، به‌عنوان خروجی در نظر گرفته شد و با جابه‌جایی مرحله‌ای (۵ مرحله) اهرم کنترل سرعت پیشروی و جوی استیک، تغییرات سرعت پیشروی در زمانی ثابت (۲۰ ثانیه) بین حالت‌های مختلف مکانیکی و الکترونیکی بررسی گردد و نهایتاً نتایج دریافتی در قالب طرح کاملاً تصادفی تحلیل شود. نمودار حالت نرمال و نمودار حالت‌های مختلف کنترل مکانیکی و الکترونیکی با ثبت تغییرات ولتاژ با دیتا لاگر به‌دست آمد و تجزیه و تحلیل شد.

روش‌های ارزیابی سامانه

جهت ارزیابی سامانه کنترل سرعت پیشروی دروگر، در مرحله اول قدرت مانوردهی دروگر و در مرحله دوم سرعت پاسخ سامانه بررسی شد. قدرت مانوردهی دروگر با شرایط اپراتوری یکسان یک بار با دروگر مجهز به سامانه کنترل الکترونیکی و بار دیگر با دروگر مجهز به سامانه کنترل مکانیکی بررسی گردید. در ابتدا جهت حرکت دستگاه با سرعت‌های متفاوت و رسیدن به سرعت ثابت روی جاده خطی به‌عنوان مبنا با فاصله ۲۰ متر از محل شروع حرکت دروگر در نظر گرفته شد تا دروگر فرصت کافی برای رسیدن به سرعت‌های مختلف داشته باشد و فاصله توقف دروگر از این خط به‌عنوان خطا بررسی شد. میزان خطای توقف دروگر از خط مبنا با سامانه‌های کنترلی مختلف در ۵ تکرار برای هر سرعت و در قالب طرح فاکتوریل، توسط نرم‌افزار آماری SAS بررسی گردید. در مرحله دوم، کوپل کردن شیرهای کنترل پمپ‌های حرکت به یکدیگر سبب شد تا با وجود



شکل ۴- نحوه اندازه‌گیری و ثبت تغییرات ولتاژ پتانسیومتر

بود که جهت تعیین قدرت مانورپذیری سامانه طراحی گردید و در آن قدرت مانور دروگر یک بار با سامانه کنترل مکانیکی و بار دیگر با سامانه کنترل الکترونیکی سرعت پیشروی بررسی شد. در این طرح، نوع سامانه کنترلی و سرعت موتور به عنوان فاکتورهای طرح در نظر گرفته شد و میزان قدر مطلق خطای موقعیت مکانی در زمان توقف نسبت به خط مبنا در هر یک از سامانه‌های کنترلی و در سه دور موتور مختلف به دست آمد. نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که قدر مطلق خطای توقف دروگر در سامانه کنترل الکترونیکی سرعت پیشروی دروگر معنی‌دار نیست که نشانگر قابلیت بهتر قدرت مانورپذیری و بی‌تأثیر بودن تغییرات دور موتور (سرعت پیشروی) بر قدرت مانورپذیری دروگر است. نتایج تجزیه واریانس تأثیر دور موتور و نوع سامانه بر قدرت مانورپذیری دروگر در جدول ۱ نشان داده شده است.

جهت ایجاد نمودار حالت نرمال، موتور پله‌ای با فرکانس پایین ۳۰ هرتز توسط میکروکنترلر و درایور به چرخش درآمد و با گذشت ۲۰ ثانیه به پایان محدوده خود رسید. این تغییرات سبب تغییرات ولتاژ خروجی از پتانسیومتر شد که با ثبت آن با دیتالاگر، نمودار حالت نرمال ایجاد شد. همچنین، نمودار حالت‌های مختلف کنترل مکانیکی و الکترونیکی با ثبت تغییرات ولتاژ پتانسیومتر ایجاد شد. جهت مشاهده سرعت پاسخ سامانه‌های کنترل مکانیکی و الکترونیکی سرعت پیشروی، در ۵ مرحله ثابت و زمان ۲۰ ثانیه تغییرات ولتاژ خروجی پتانسیومتر با دیتالاگر اندازه‌گیری شد و پس از ثبت میزان اختلاف آنها (قدر مطلق خطای نمودارها) نسبت به حالت نرمال بررسی گردید.

ارزیابی سامانه کنترل سرعت پیشروی

طرح اول از نوع فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی

جدول ۱- آنالیز تجزیه واریانس تاثیر دور موتور و نوع سامانه بر خطای توقف

F	میانگین مربعات	مجموع مربعات	درجه آزادی	منابع تغییرات
۴۴/۵۴**	۱۶۳۲۷	۳۲۶۵۵	۲	مکانیکی
۲/۴ ^{n.s}	۸۷۹/۲	۱۷۵۸/۴	۲	الکترونیکی

** اختلاف معنی دار در سطح ۱ درصد، n.s نبود اختلاف معنی دار

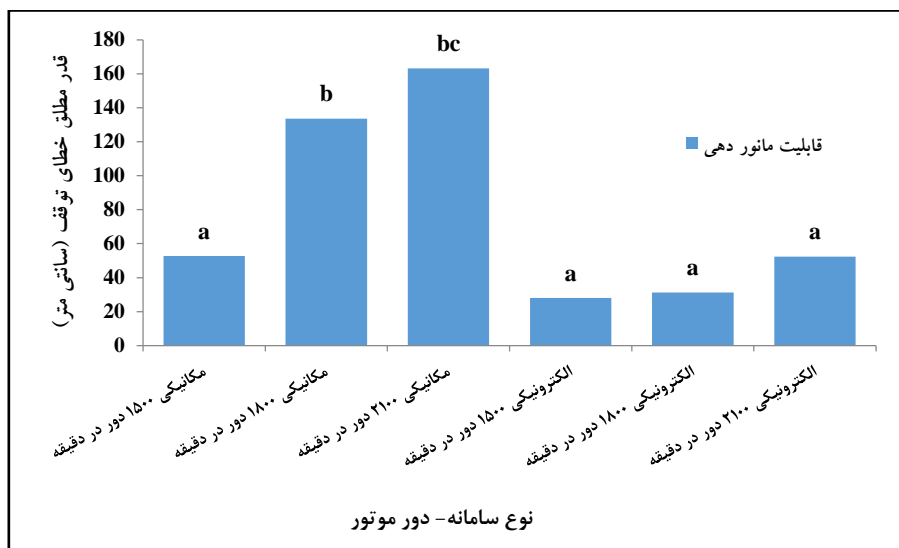
(همه با حرف a مشخص شده‌اند) و این نشان دهنده پایین بودن میزان خطای توقف و وابسته نبودن قدرت مانور دروگر به دور موتور است که از مزیت‌های سامانه کنترلی جدید به‌شمار می‌آید. بنابراین، سامانه مکانیکی با سرعت موتور ۲۱۰۰ دور در دقیقه با میانگین ۱۶۳/۰۲ سانتی‌متر خطا نسبت به خط مبنی کمترین قدرت مانورپذیری و سامانه الکترونیکی با سرعت ۱۵۰۰ دور در دقیقه با میانگین ۲۸ سانتی‌متر خطا بیشترین قدرت مانورپذیری را به‌خود اختصاص دادند. در کل، نتایج به‌دست آمده نشان دهنده بالا بودن دقت سامانه‌ها با کنترل الکترونیکی هستند که با نتایج بررسی‌های گالبرگ (Gullberg, 2003) و آدچی و همکاران (Adachi et al., 2006) در بالا بودن دقت و سرعت پاسخ سامانه مطابقت دارد.

از آنجا که اثر متقابل (نوع سامانه × دور موتور) در سطح اطمینان ۱ درصد معنی دار است، بنابراین تجزیه واریانس اضافی نیز انجام گردید. نتایج در جدول ۲ ارائه شده است. طبق نتایج به‌دست آمده، مطابق شکل ۵ در سامانه کنترل مکانیکی بین تیمارهای ۱۵۰۰ که با حرف a مشخص شده با ۱۸۰۰ و ۲۱۰۰ دور بر دقیقه، که با حرف b و bc مشخص شده، اختلاف معنی دار مشاهده شده است که بیانگر افزایش میزان خطای توقف در دور موتورهای بالا و وابسته بودن قدرت مانور دروگر به دور موتور است. بنابراین، دروگر در دور موتورهای پایین دارای قدرت مانور پایین تری است. همچنین، در سامانه کنترل الکترونیکی بین تیمارهای مختلف ۱۵۰۰، ۱۸۰۰ و ۲۱۰۰ در دور موتورهای اختلاف معنی دار مشاهده نمی‌شود

جدول ۲- نتیجه اثر متقابل نوع سامانه بر دور موتور

F	میانگین مربعات	مجموع مربعات	درجه آزادی	منابع تغییرات
۱۲۸/۷۵**	۴۷۲۰۳/۳۳	۴۷۲۰۳/۳۳	۱	سامانه
۳۱/۶**	۱۱۵۸۶/۵۳	۲۳۱۷۳/۰۶	۲	سرعت
۱۵/۳۳**	۵۶۲۰/۱۳	۱۱۲۴۰/۲۶	۲	سامانه × سرعت
	۳۶۶/۶۱	۸۷۹۸/۸	۲۴	خطا
		۹۰۴۱۵/۴۶	۲۹	کل
			۲۴/۹	ضریب تغییرات (درصد)

** اختلاف معنی دار در سطح ۱ درصد

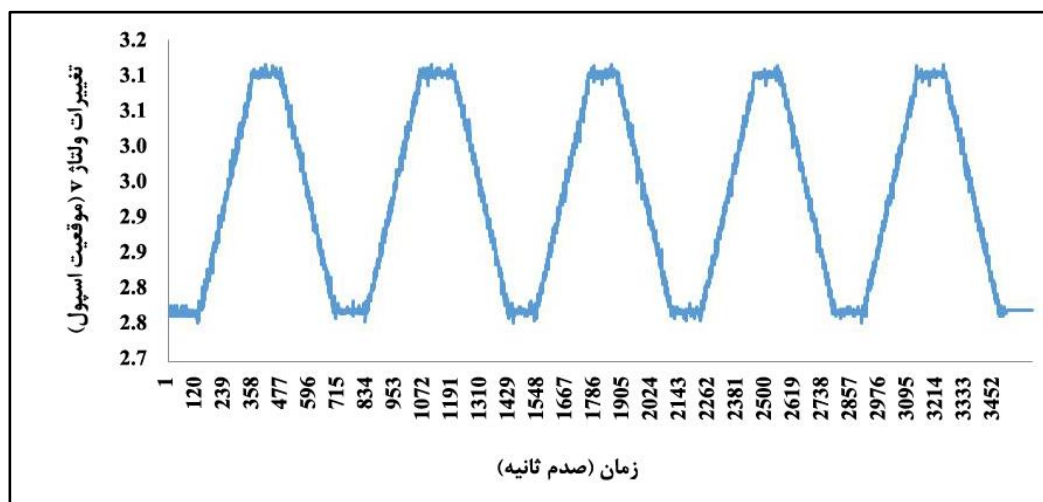


شکل ۵- نمودار مقایسه خطای توقف در تیمارهای مختلف

تحلیل شد. تغییرات سرعت دروگر در زمان‌های ثابت نیز در دو سامانه کنترل مکانیکی و کنترل الکترونیکی سرعت پیشروی بررسی گردید. شکل ۷ نمودار تغییرات سرعت در واحد زمان سامانه کنترل الکترونیکی و نمودار تغییرات سرعت در واحد زمان سامانه کنترل مکانیکی سرعت پیشروی دروگر را در ۵ تکرار پی در پی نشان می‌دهد. میزان خطای حالت‌های مختلف کنترلی نسبت به حالت ایده‌آل نیز بررسی شد که نمودار شکل ۸ نشان‌دهنده این مقایسه است.

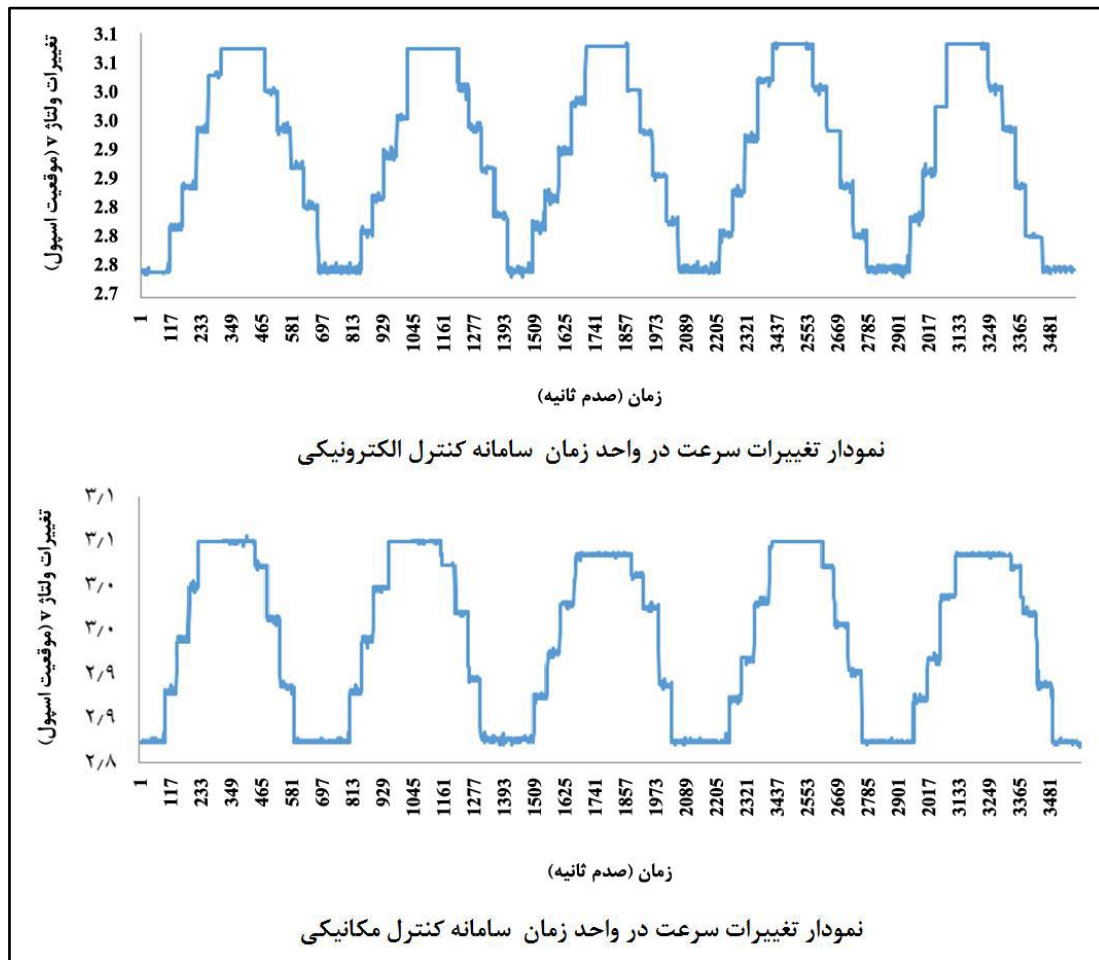
ارزیابی سرعت پاسخ سامانه

جهت ارزیابی سرعت پاسخ سامانه‌های کنترل مکانیکی و الکترونیکی کنترل سرعت پیشروی، از طرح کاملا تصادفی در پنج تکرار استفاده شد. بدین منظور در هر تکرار قدر مطلق خطای تغییرات ولتاژ پتانسیومتر (تغییرات سرعت) بررسی شد که بیانگر تغییرات موقعیت موتور پله‌ای و در نتیجه تغییرات موقعیت اسپول شیر کنترل است. در این بررسی حالت‌های مختلف کنترل مکانیکی و الکترونیکی نسبت به حالت نرمال (شکل ۶) تجزیه و

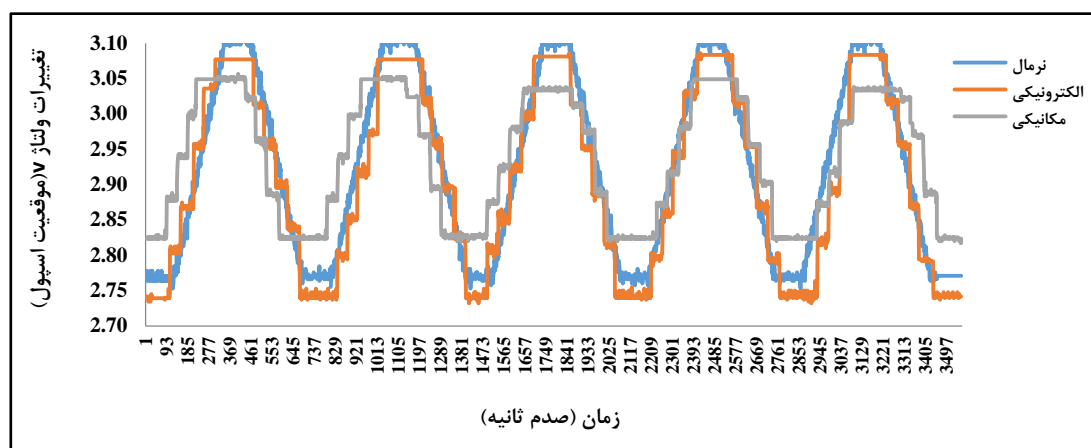


شکل ۶- نمودار حالت نرمال

ارزیابی سرعت پاسخ و مانورپذیری سامانه کنترل سرعت پیشروی...



شکل ۷- پاسخ تغییرات زاویه موقعیت اسپول در دو حالت کنترل مکانیکی و کنترل الکترونیکی



شکل ۸- خطای حالت‌های مختلف کنترلی

نتایج این مقایسه در جدول ۳ نشان داده شده و بیانگر این است که تاثیر نوع سامانه بر سرعت پاسخ دارای اختلاف معنی‌داری در سطح اطمینان ۵ درصد است. مقایسه میانگین‌ها در نمودار شکل ۹ نشان می‌دهد که

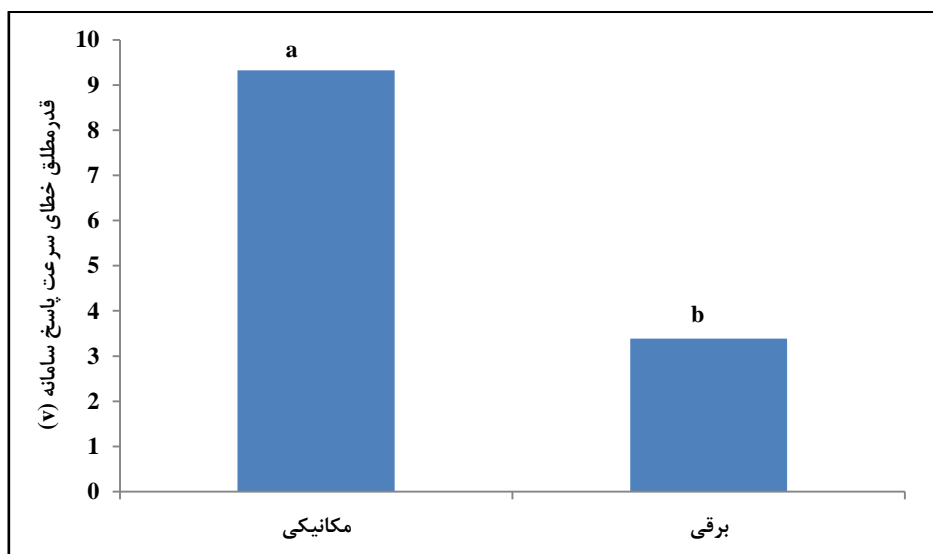
سرعت عمل تجهیزات الکترونیکی نسبت به سرعت عمل تجهیزات مکانیکی است. این نتایج با نتایج تحقیقات گالبرگ (Gullberg, 2003) و آدچی و همکاران (Adachi *et al.*, 2006) در بالابودن دقت و سرعت پاسخ سامانه مطابقت دارد.

سامانه مکانیکی با میانگین قدر مطلق خطای ۹/۳۲۲ دارای بیشترین مقدار و اثر سامانه الکترونیکی بر سرعت پاسخ با مقدار ۳/۳۸۸ دارای کمترین مقدار است؛ این نتایج از وجود انحراف کمتر سامانه کنترل الکترونیکی نسبت به حالت نرمال نشان دارد که علت آن بالا بودن

جدول ۳- تجزیه واریانس اثر نوع سامانه بر سرعت پاسخ سامانه کنترل سرعت پیشروی

F	میانگین مربعات	مجموع مربعات	درجه آزادی	منابع تغییرات
۸/۱۵*	۸۸/۰۳۶	۸۸/۰۳۶	۱	نوع سامانه
	۱۰/۸۰۴	۸۶/۴۳۹	۸	خطا
		۱۷۴/۴۷۶	۹	کل
			۸/۱۲	ضریب تغییرات (درصد)

* اختلاف معنی دار در سطح احتمال ۵ درصد



شکل ۹- نمودار مقایسه اثر متقابل نوع سامانه بر سرعت پاسخ سامانه

خلاصی‌های موجود بین قطعات را به همراه دارد. استفاده از سامانه کنترل الکترونیکی همچنین باعث بالارفتن راحتی راننده، بهبود عملکرد راننده و در نهایت بالارفتن ضریب اطمینان خواهد شد. نتایج دریافتی قابل قبول از پیاده‌سازی این سامانه نشان از عملکرد صحیح این سامانه دارد.

نتیجه‌گیری

سامانه کنترل الکترونیکی سرعت پیشروی دروگر سبب بالارفتن سرعت پاسخ (واکنش) دستگاه، بالارفتن قدرت مانور دستگاه، سهولت تعمیرات، سهولت استفاده از دستگاه و پایین آمدن استفاده از قطعات مکانیکی می‌شود که کاهش اصطکاک قطعات مکانیکی و کاهش

قدردانی

نویسندگان مقاله از همه کسانی که به نوعی در به ثمر رسیدن این پژوهش کمک کرده‌اند- از جمله از پرسنل محترم بخش تجهیزات شرکت کشت و صنعت امام خمینی (ره)، گروه مهندسی بیوسیستم، معاونت پژوهشی و دفتر ارتباط با صنعت دانشگاه شهید چمران اهواز- قدردانی می‌نمایند.

مراجع

- Adachi, K., Ochi, Y. and Kanai, K. 2006. Development of CVT control system and its use for fuel-efficient operation of engine. *Asian J. Contr.* 8(3): 219-226.
- Akyeampong, J., Udoka, S., Caruso, G. and Bordegoni, M. 2014. Evaluation of hydraulic excavator human-machine Interface concepts using NASA TLX. *Int. J. Ind. Ergonom.* 44, 374-382.
- Balakrishnan, J. 2013. Steer by wire in agricultural tractors. *Int. J. Sci. Eng. Res.* 4(7): 1303-1311.
- Baldo, R. F. G. and Magalhães, P. S. G. 2012. Sistema de controle de velocidade sincronizada entre dois veículos agrícolas. *Ciência Rural.* 42(2): 298-304. Doi:10.1590/s0103-84782012005000001
- Gullberg, D. 2003. Development of a motor control algorithm used in a shift-by-wire system. M.Sc. Thesis. Electrical Engineering Department. Linkopings University.
- Khodadadi, H. and Rashidi, A. A. 2013. Design, construction of an internal combustion Engine without mechanical camshaft. 8th International Conference of Oil and Internal Combustion Engines. (in Persian)
- Mackin, R. P. and Sheidler, A. D. 2012. Agricultural harvester with dual engines and power sharing based on engine temperature: Google Patents.
- Magalhães, P. S. G., Baldo, R. F. G. and Cerri, D. G. P. 2008. Sistema sincronismo entre colhedora de cana-de-acucare o veiculo de transbordo. *Eng. Agric.* 28(2): 274-282.
- Moradasgharlu, N. 2015. Electro-hydraulic tillage depth control system for tillage implements. 9th International Congress of Mechanization and Agricultural Machinery Engineering. (in Persian)
- Wilwert, C., Navet, N., Song, Y. Q. and Lion, F. S. 2005. Design of automotive X-by-Wire systems. *The Industrial Communication Technology Handbook.* CRC Press. Available at: <https://hal.inria.fr>.
- Winck, R. C., Elton, M. and Wayne, J. B. 2015. A practical interface for coordinated position control of an excavator arm. *Automation in Construction.* 51, 46-58.



Evaluating Reaction Time and Manneverability of Forward Speed Control System in Sugarcane Harvester Series 7000 under Mechanical and Electronical Controls Conditions

R. Seidi, M. E. Khorasani-Ferdavani* , M. J. Sheikh-Davoodi and H. Masoudi

* Corresponding Author: Assistant Professor, Department of Biosystem Engineering, College of Agriculture, Shahid Chamran University of Ahvaz, Khuzestan, Iran. Email: e.khorasani@scu.ac.ir

Received: 28 June 2016, Accepted: 6 November 2016

The aim of this study was to design, Constructand evaluate an electronic system for control of the forward speed control in 7000 series sugarcane harvesters. The conventional method of control for the forward speed of sugarcane harvester in 7000 series is mechanical. The new electronic control system was developed to replace the traditional mechanical control system. MotorStepper, drivers, micro-controller, joystick and potentiometer were used to program microcontrollers as well as C programming in code-vision. The new control system was evaluated during two series of tests. To determine the strength of the maneuverability of the harvesting machine, the first test was conducted using a factorial experiment based on completely randomized design. The maneuverability was compared for mechanical and electronic control systems under different engine rpm. The location error at stoppage time in respect to the baseline was measured as basis for maneuverability. In the second test the response time was compared with a completely randomized design in two systems. The statistical analysis showed a statistically significant difference between the control systems in 1% probability level. The maneuverability of harvester equipped with electronic control system increased significantly and it was not affected by the changes in engine rpm (forward speed). In the second test the statistical analysis showed a statistically significant difference between the control systems in 5% probability level. Electronic forward speed control system resulted in reaction speed, and device maneuverability, ease of maintenance and use, a reduction in mechanical parts usage and finally the proper functioning of the system.

Keywords: Cane Harvester, Electronic Control System Technology, Joystick, Speed Control, Motor Stepper