جایگزینی سامانه‌های کنترل الکترونیکی با سامانه‌های مرسوم کنترل مکانیکی ماشین برداشت نیشکر سری ۷۰۰۰

رحیم صیدی [۱*]، اسماعیل خراسانی فردوانی [۲]، احمد رمضانی [۳]

۱. دانش آموخته کارشناسی ارشد دانشگاه شهید چمران اهواز (Seidi_r@mapnamrm.com)
۲. استاد یار و عضو هیئت‌علمی گروه مهندسی بیوسامانه دانشگاه شهید چمران اهواز (e.khorasani@scu.ac.ir)
۳. دانش آموخته کارشناسی مکانیک مترو دانشکده علمی کاربردی مترو (Ramezani_A@mapnamrm.com)

چکیده

امروزه بسیاری از فن‌آوری‌های پیشرفته در زمینه مکانیک و الکترونیک با ارتباطی منظم و دقیق با هم آمیخته شده‌اند و سامانه‌های کنترل الکترونیکی بیشتر و بیشتر با سامانه‌های مرسوم مکانیکی جایگزین شده‌اند. استفاده از سامانه‌های مرسوم مکانیکی نیازمند کنترلی دقیق و هوشمند است که سامانه‌های مرسوم کنترلی فاقد آن می‌باشد. همزمان با پیشرفت سامانه‌های کنترل الکترونیکی در سایر بخش‌های صنعت، ضروری است صنعت کشاورزی نیز خود را آماده جایگزینی سامانه‌های کنترل الکترونیکی با سامانه‌های مرسوم کنترل مکانیکی و هیدرولیکی نماید که پیاده‌سازی سامانه‌های کنترل الکترونیکی باعث تلفیق کامل و قابل تنظیم یک سامانه کنترلی به همراه کارایی بهتر، اشغال فضای کمتر، صرفه‌جویی در مصرف سوخت، کاهش آلودگی و ذخیره انرژی می‌شود. در این مقاله ابتدا با ذکر مقدمه‌ای در خصوص پیاده‌سازی سامانه‌های کنترل الکترونیکی به‌جای سامانه‌های کنترل مکانیکی و هیدرولیکی مرسوم، نحوه عملکرد مکانیزم های محرک مکانیکی و دلایلی را که سبب استفاده از سامانه‌های کنترل الکترونیکی می‌شود ارائه خواهد شد و نهایتاً تجهیزات موردنیاز جهت پیاده‌سازی این سامانه، شماتیکی از عملکرد سامانه کنترل الکترونیکی و الگوریتم کنترلی طراحی‌شده برای این سامانه عنوان می‌شود. نتایج به‌دست‌آمده از پیاده‌سازی آزمایشگاهی این سامانه نشان‌دهنده عملکرد صحیح کنترلر ازنظر طراحی و پیاده‌سازی الگوریتم کنترلی است.

کلمات کلیدی: *سامانه‌های کنترل الکترونیکی، ماشین برداشت، موتور پله‌ای، میکروکنترلر، جوی استیک*

*نویسنده مسئول: Seidi_r@mapnamrm.com

جایگزینی سامانه‌های کنترل الکترونیکی با سامانه‌های مرسوم کنترل مکانیکی ماشین برداشت نیشکر سری ۷۰۰۰

مقدمه

استفاده از اجزای الکترونیکی در ماشین‌آلات مدرن کشاورزی فراگیر شده است و به‌طور گسترده در برنامه‌های کاربردی از کنترل نرخ دانه گرفته تا هدایت تجهیزات از سامانه‌های کنترل الکترونیکی استفاده می‌شود. میزان استفاده از الکترونیک به یک مؤلفه ضروری تبدیل‌شده است که در سامانه‌های کنترلی می‌توان دید. تقریباً در تمام تجهیزات خود کشش کشاورزی که بعد از سال ۲۰۰۸ تولیده شده‌اند از کنترلرهای الکترونیکی استفاده‌شده است. بررسی دستاوردهای گذشته در الکترونیک و کاربرد آن‌ها در تجهیزات کشاورزی به‌عنوان مبنایی برای تفکر در مورد آینده نهان تکنولوژی مورد تأیید قرار می‌گیرد [۱۱]. تجهیزات کشاورزی قدیمی به محدودیت‌های خود در ازلحاظ پیچیدگی و بهینه‌سازی با فنّاوری‌های فعلی رسیده‌اند و علاوه بر این، پیشرفت‌های اخیر در حوزه فنّاوری محرک¬های الکتریکی سبب محدودیت استفاده از محرک‌های مکانیکی شده است. بنابراین در آینده تمرکز در این زمینه بر روی محرک‌های الکتریکی خواهد بود [۱۴].

استفاده فزایند از سامانه‌های نوین کنترل الکترونیکی و نرم‌افزار پیاده شده بر روی آن یک محیط رو به رشدی را برای سامانه‌های کنترلی مرسوم مکانیکی و هیدرولیکی فراهم کرده است. این موضوع نشان‌دهنده امکان استفاده از این تکنولوژی در صنایع مختلف ازجمله تجهیزات جاده‌ای، ریلی، کشاورزی و دریایی می‌باشد. استفاده از این تکنولوژی به‌طور وسیعی بی‌دقتی سامانه‌های کنترلی مکانیکی را کاهش داده و به‌صورت پیشرفته و دقیق‌تر سامانه‌های کنترل الکترونیکی را جایگزین سامانه‌های کنترلی مرسوم مکانیکی کرده است [۱۱]. ازآنجایی‌که استفاده از تکنولوژی نوین سامانه‌های کنترل الکترونیکی اجازه تلفیق کامل و قابل تنظیم یک سامانه کنترلی را به همراه کارایی بالقوه و بهتر فراهم می‌کند بسیار کاربردی می‌باشد [۱۰]، و لزوم حرکت به سمت این تکنولوژی را یادآور می‌شود. بر اساس تحقیقات میدانی صورت گرفته از کشت و صنعت‌های شرکت توسعه نیشکر و صنایع جانبی، نظر کارشناسان مربوطه و مقایسه عملکرد ماشین¬های برداشت نیشکر جدید و قدیمی، استفاده از دستگاه‌هایی باقابلیت کنترل الکترونیکی دارای مزایای بسیار زیادی است. در حال حاضر ماشین‌های جدید برداشت نیشکر مجهز به فناوری‌های کنترل الکترونیکی سرعت پیشروی و دور موتور می‌باشند ولی دستگاه‌های قدیمی فاقد سامانه‌های کنترل الکترونیکی بوده و به‌صورت مرسوم مکانیکی کنترل می‌شوند. بنابراین در این پژوهش طراحی و ساخت سامانه‌ای، جهت کنترل الکترونیکی سرعت پیشروی و کنترل الکترونیکی دور موتور ماشین برداشت نیشکر در راستای ارتقاء فناوری ماشین‌های برداشت موجود، مدنظر می‌باشد.

مرور منابع:

ماتیکینن[1] در سال ۲۰۱۶ طی تحقیقی یک سامانه کنترلی الکترومکانیکی را برای هدایت و فرمان پذیری یک تراکتور با شاسی کمرشکن جایگزین سامانه کنترل مرسوم مکانیکی کرد. در کمرشکن‌های قدیمی سیلندرهای هیدرولیکی جهت هدایت وسیله بکار می‌رفت. در این تحقیق برای هدایت الکترومکانیکی راه‌حل جایگزینی سیلندرهای هیدرولیک قدیمی ماشین کیس[2] با یک عملگر خطی الکتریکی بود. تست و ارزیابی بر روی ماشین کیس انجام شد که مشخص شد فرمان الکترومکانیکی به‌طور مشابه قادر به هدایت وسیله با سامانه فرمان پذیری اصلی می‌باشد. استفاده از سامانه کنترل الکتریکی هدایت شاسی کمرشکن که بر روی تراکتور کیس استفاده‌شده است دارای مزایای بیشتری نسبت به‌وسیله هایی با سامانه فرمان پذیر آکرمان قدیمی می‌باشد که شامل ذخیره انرژی، کنترل دقیق‌تر فرمان اتصال کشنده‌ها و کاهش شعاع چرخش می‌شود [۱۴].

1 Matickainen
2 Case

بالاکریش نان[3] با انجام تحقیقی با موضوع کنترل الکترونیکی فرمان در تراکتورهای کشاورزی سامانه فرمان هیدرولیکی مرسوم در تراکتورهای کشاورزی را با یک عملگر الکتریکی که شامل یک گشتاورسنج، موتور الکتریکی و یک کنترلر بود جایگزین کرد. نحوه عملکرد به این صورت بود که با چرخاندن رول فرمان توسط راننده گشتاور به یک گشتاورسنج اعمال‌شده و با توجه به میزان این گشتاور کنترلر میزان چرخش را برای موتور الکتریکی مشخص می‌کرد [۸].

در سال ۲۰۰۵ توسط وانگ[4] یک عملگر که دارای یک موتور به همراه گیربکس بود برای سامانه انتقال قدرت وسیله نقلیه اختراع شد که شامل یک حالت انتخاب دستی و حالت انتقال قدرت الکترونیکی 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 می‌کرد. یک سیگنال الکترونیکی به سمت عملگر فرستاده می‌شد. سامانه انتقال قدرت الکترونیکی می‌تواند باعث کاهش فضای لازم برای دستگاه‌های انتقال قدرت، کاهش مشکلات نصب، کاهش هزینه‌ها و افزایش بازدهی گردد [۱۵].

برای ایجاد این توانایی یک سامانه کنترلی که می‌تواند نسبت دنده را به‌صورت دقیق و جامع کنترل کند موردنیاز می‌باشد. پیشرفت سامانه کنترل سی وی تی[5] و استفاده از آن برای کنترل بازدهی سوخت موتور موضوعی بود که توسط آداچی[6] و همکاران موردبررسی قرار گرفت. این سامانه شامل یک موتور پله‌ای بود به‌صورت که اسپول موجود در شیر هیدرولیکی را حرکت می‌داد و نیروی جلو برنده پولی را برای رسیدن به نسبت دنده موردنیاز تنظیم می‌کرد. برای ارزیابی سامانه کنترل و بازدهی مصرف سوخت شبیه‌سازی کامپیوتری و تست‌های رانندگی انجام شد و آزمایشات نشان داد که استفاده از سامانه کنترل الکترونیکی می‌تواند نسبت دنده با کیفیت و دقیقی را ایجاد کند. نتایج همچنان نشان داد که سامانه کنترل بازدهی سوخت با تغییر نسبت دنده مناسب بالا می‌رود. بنابراین گشتاور موتور و سرعت چرخش آن می‌تواند شرایط عملکرد بهینه را ایجاد کند [۶].

یو[7] و همکاران یک وسیله مکانیکی مخصوص برای تبدیل چرخش موتور پله‌ای به حرکت خطی اسپول طراحی کردند. در این عملکرد وسیله وقتی‌که موتور پله‌ای می‌چرخد ساچمه‌ای که به‌صورت خارج از مرکز به شفت موتور پله‌ای متصل شده است اسپول را حرکت می‌دهد. در حالت عادی وقتی موتور پله‌ای در موقعیت وسط قرار دارد نیروی فنر اسپول را در محل اولیه نگه می‌دارد و به‌محض برق‌دار شدن و چرخش آن، اسپول به میزان تنظیم‌شده به سمت جلو حرکت می‌کند. نتایج آزمایشگاهی ثابت کرد که این شیر دارای دقت بالا و سرعت پاسخ بالا می‌باشد. استفاده از میکرو کامپیوترها جهت کنترل سامانه‌های مختلف در صنعت مدرن خیلی مهم خواهد شد [۱۷].

خدادادی و رشیدی از یک سامانه کنترل الکترونیکی به‌جای مکانیزم محرک مکانیکی سوپاپ‌ها در یک موتور احتراق داخلی استفاده کردند. نحوه‌ی کنترل این سامانه الکتریکی به‌گونه‌ای بود که با کوپل کردن یک انکودر دورانی بر انتهای میل‌لنگ و مشخص کردن یک نقطه به‌عنوان مبدأ زاویه چرخش میل‌لنگ و موقعیت کنترل‌کننده با توجه به سیکل ترمودینامیکی و با استفاده از برنامه‌ای که از قبل برای آن نوشته‌شده بود فرمان باز یا بسته شدن را به عملگر الکتریکی ارسال کرده و عملگر سوپاپ را باز یا بسته می‌نماید. با پیاده‌سازی و اجرای سامانه الکتریکی در هر دور موتور بهترین پروفایل زمانی و مکانی برای سوپاپ اجرا شد که نتیجه آن بالا رفتن راندمان موتور بود. با حذف این مکانیزم مکانیکی، قطعات متحرک زیادی که با سرعت بالا در حرکت بوده‌اند حذف شده که این امر باعث کاهش ضرایب اصطکاکی موتور و درنتیجه می‌توان به توان بالاتر برای موتور و مصرف سوخت پایین‌تر شد [۳].

3 Balakrishnan
4 Wang
5 CVT (continuously variable transmission)
6 Adachi
7 Yu

توسط اصغرلو و همکاران یک سامانه کنترل الکترونیکی درصد لغزش طراحی و بر روی تراکتور نصب شد و تأثیر آن بر روی درصد لغزش مورد ارزیابی قرار گرفت. در این سامانه یک حسگر دورسنج برای اندازه‌گیری سرعت واقعی تراکتور و یک حسگر مغناطیسی برای اندازه‌گیری سرعت تئوری به‌کاربرده شد. سیگنال‌های خروجی از حسگرها به پردازشگر مرکزی ارسال شدند و پردازشگر پس از محاسبه درصد لغزش و مقایسه آن با مقدار تنظیمی، فرمان لازم را به موتور پله‌ای جهت تغییر عمق کار وسیله به‌منظور ثابت نگه‌داشتن درصد لغزش صادر کرد. کاهش درصد لغزش در سامانه الکترونیکی باعث کاهش سوخت مصرفی تراکتور در مقادیر تنظیمی کشش مشابه شد. بین میانگین سوخت مصرفی دو سامانه در تمامی سرعت‌های مشابه اختلاف معنی‌داری وجود داشت طوری که سوخت مصرفی در سامانه الکترونیکی نسبت به سامانه مکانیکی کمتر بود [۲].

فروزان مهر و لغوی موضوعی تحت عنوان طراحی، ساخت و ارزیابی کود کار با توانایی کاربرد میزان متغیر کود را اجرا نمودند. در این دستگاه برنامه‌های لازم برای کنترل‌کننده‌ها نوشته و در حافظه میکروکنترلر ذخیره شد. نتایج ارزیابی‌های آزمایشگاهی و مزرعه‌ای نشان داد که با استفاده از این سامانه و ایجاد یک مصالحه نسبت به‌سرعت پیشروی می‌توان با کاربرد کود شیمیایی با میزان متغیر، در مدیریت مزرعه در راستای بهینه‌سازی مصرف نهاده‌های کشاورزی و کاهش اثرات زیست‌محیطی که هدف اصلی کشاورزی دقیق است گام برداشت [۴].

کیان مهر و همکاران نمونه‌ای از یک شیر کنترل دبی سوخت، برای کنترل دبی سوخت یک موتور توربین گاز طراحی کردند. در این سامانه کنترل سوخت، ابتدا پارامترهای کنترلی از موتور توروجت به واحد کنترل الکترونیکی وارد می‌شد. واحد کنترل الکترونیکی، در هر حالت و شرایط کاری با توجه به وضعیت موجود و داده‌های حسگرهای موتور و نیز فرمان ارسالی، سوخت مناسب را برای عملکرد مناسب موتور تعیین می‌کرد و سوخت تعیین‌شده به‌صورت یک عدد ۰ تا ۱ به محرک الکترونیکی موتور پله‌ای جهت قرار دادن آن در شرایط از پیش تعیین‌شده در واحد کنترل سوخت ارسال می‌شد. تنظیم مقدار عبوری از واحد کنترل سوخت به سمت نازل در این شیر از طریق حرکت خطی یک اسپول و تغییر سطح مقطع عبور جریان انجام می‌شد. نتیجه آزمون عملی درایور الکتریکی بر روی واحد کنترل سوخت حکایت از توانایی درایو الکتریکی و الکترونیکی و واحد کنترل سوخت در تنظیم دبی سوخت داشت [۵].

بالدو[8] و همکاران یک طرح اولیه از کنترل خودکار سرعت وسایلی که لازم است به‌صورت هماهنگ در عملیات کشاورزی کار کنند را ارائه دادند. این سامانه شامل یک تراکتور مبنا و یک تراکتور پیرو که به‌طور موازی با آن حرکت می‌کند بود. در این طرح تراکتور پیرو با استفاده از منطق فازی و بر اساس سرعت تراکتور مبنا حرکت می‌کرد. برای آزمایش‌ها تراکتور مبنا به جی پی اس[9]، انکودر، رایانه و فرستنده رادیویی مجهز شده بود و جهت انجام ارزیابی سامانه دو آزمون انجام شد: در ابتدا سرعت تراکتور مبنا برای تراکتور پیرو شبیه‌سازی شد که باوجود خطای ۱/۳ درصد به نتایج خوبی رسیدند. در آزمایش دوم از هر دو تراکتور استفاده شد که تراکتور مبنا سرعت‌های مختلفی را می‌گرفت و سرعت تراکتور پیرو موردبررسی قرار گرفت که با خطای ۲/۹ درصد نتایج قابل‌قبول بود [۱۳].

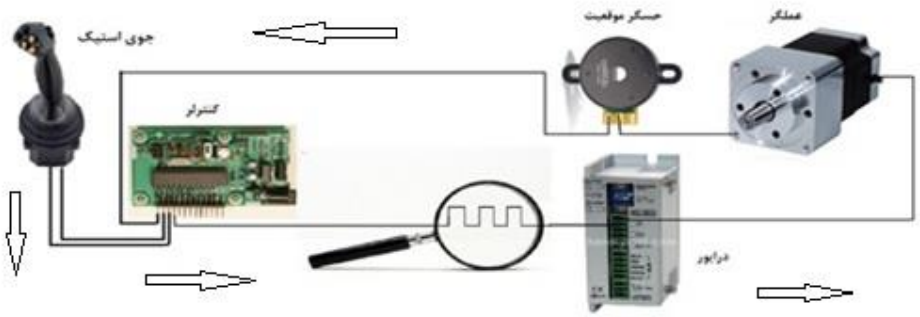
اصغرلو (۱۳۹۴) کار طراحی و ساخت یک سامانه کنترل عمق شخم الکتروهیدرولیکی خودکار را به‌منظور کاهش اختلاف بین عمق شخم واقعی و عمق شخم مورد نظر انجام داد. این سامانه دارای حسگر عمق شخم، میکروکنترلر ، موتور پله‌ای، درایور، شیر کنترل و یک صفحه نمایشگر برنامه پذیر بود. در این سامانه عمق شخم با استفاده از یک حسگر عمق شخم که شامل چرخ پنجم و پتانسیومتر بود اندازه‌گیری شد. یک عدد شیر کنترل از نوع چرخان با موتور پله‌ای کنترل می‌شد که برای کنترل سامانه اتصال سه نقطه و عمق شخم استفاده گردید. نتایج آزمایش‌های کارگاهی نشان داد که سامانه کنترل الکتروهیدرولیکی در حالت پایداری، تغییرات عمق را به خوبی در محدوده ۲± سانتی‌متر کنترل کرد. نتایج مزرعه‌ای نشان داد که میانگین عمق شخم در سامانه الکتروهیدرولیکی با اختلاف معنی‌داری بیشتر

8 Baldo
9 GPS (Global Positioning System)

از عمق شخم در سامانه مکانیکی بود و در اکثر تیمارها مقادیر انحراف معیار و ضریب تغییرات عمق شخم در سامانه الکتروهیدرولیکی در مقایسه با سامانه مکانیکی کمتر بودند. و درنتیجه سامانه الکتروهیدرولیکی در مقایسه با سامانه مکانیکی در کنترل عمق شخم عملکرد بهتری داشت [۱].

مواد و روش‌ها

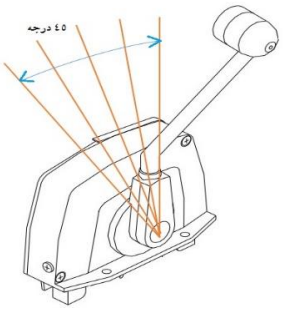
کنترل سرعت پیشروی و دور موتور ماشین برداشت نیشکر سری ۷۰۰۰ شرکت کیس در حال حاضر توسط یک اهرم‌بندی و به‌صورت مکانیکی کنترل می‌شود به‌طوری‌که راننده با توجه به نیاز خود اهرم را به میزان موردنیاز جابجا می‌کند. باوجود اصطکاک و لقی در بین این اهرم‌بندی‌ها و بلند بودن طول آن، راننده نیروی مضاعفی را صرف جابجایی اهرم‌ها می‌کند. تعویض و سرویس هرساله این اهرم‌بندی‌های مکانیکی شرایط سختی را برای تعمیر و نگهداری رقم‌زده و سبب افزایش هزینه‌ها می‌گردد. در این پژوهش هدف طراحی و ساخت سامانه‌ای است تا کنترل سرعت پیشروی ماشین برداشت به‌صورت الکترونیکی و با استفاده از جوی استیک، میکروکنترلر، موتور پله‌ای، درایور و پتانسیومتر(جهت دریافت فیدبک) انجام گیرد. در این سامانه یک جوی استیک جایگزین اهرم مرسوم کنترل مکانیکی شده که با جابجایی جوی استیک راننده پالس‌هایی را ایجاد و به سمت میکروکنترلر ارسال می‌کند و میکروکنترلر با توجه به برنامه و الگوریتم کنترلی که از قبل برای آن طراحی‌شده محاسبات مربوطه را انجام داده و پالس‌های مربعی موردنیاز 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 بر روی میکروکنترلر پیاده‌سازی شد. شکل ۱ شماتیکی از نحوه عملکرد سامانه جدید را نشان می‌دهد.



شکل ۱ طرح کلی سامانه کنترل الکترونیکی سرعت پیشروی ماشین برداشت نیشکر

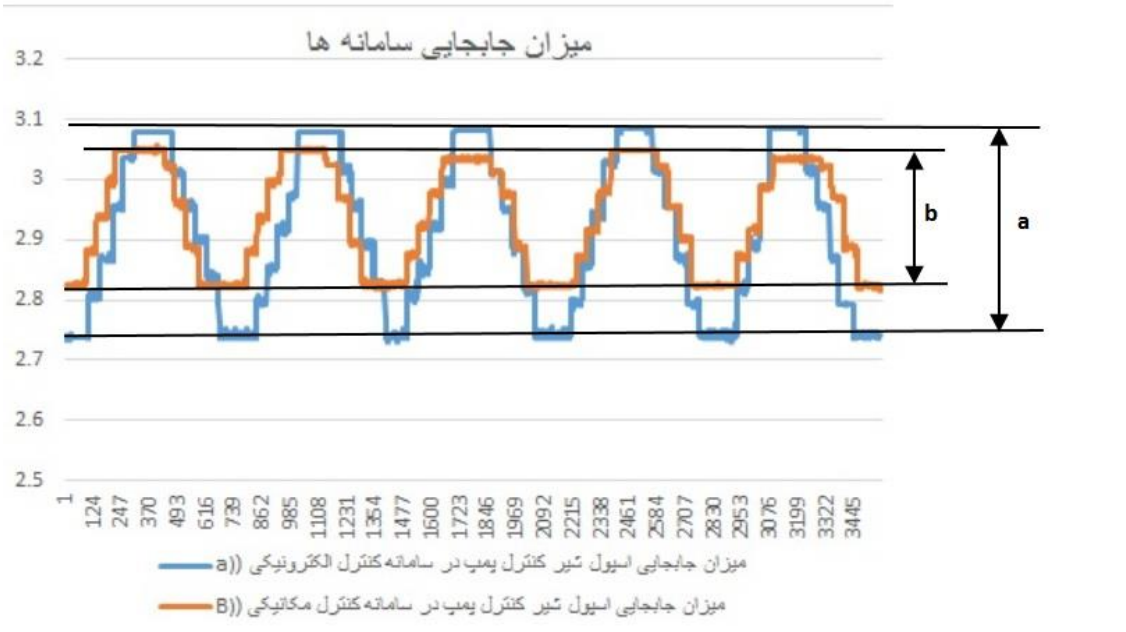
نتایج و بحث

پس از اطمینان از عملکرد مناسب آزمایشگاهی سامانه¬های کنترل الکترونیکی سرعت پیشروی و کنترل الکترونیکی دور موتور، این سامانه‌ها به‌طور کامل و با موفقیت بر روی ماشین برداشت نیشکر نصب شدند. روش ارزیابی به این صورت بود که تغییرات سرعت پیشروی به‌عنوان خروجی در نظر گرفته شد و با جابجایی مرحله‌ای اهرم کنترل سرعت پیشروی و جوی استیک، تغییرات سرعت پیشروی در یک زمان ثابت در حالت‌های مختلف مکانیکی (شکل۲) و الکترونیکی در پنج تکرار مختلف موردبررسی شد و نهایتاً نتایج حاصل از تغییرات موقعیت اسپول شیر کنترلر (تغییرات ولتاژ پتانسیومتر) مورد تجزیه‌وتحلیل قرار گرفت.



شکل ۲ مراحل جابجایی اهرم کنترل سرعت پیشروی در حالت مکانیکی

با ارزیابی و محاسبات به‌عمل‌آمده مشخص شد میزان جابجایی اسپول شیر کنترل پمپ هیدرولیک و درنتیجه میزان فشار خروجی پمپ هیدرولیک در سامانه کنترل الکترونیکی سرعت پیشروی، به میزان ۳۰ ٪ بیشتر از سامانه مرسوم کنترل مکانیکی می‌باشد که این امر نشان‌دهنده عدم وجود لقی‌های مکانیکی و کنترل دقیق‌تر شیر کنترل پمپ هیدرولیک در سامانه کنترل الکترونیکی می‌باشد. همچنین ارزیابی عملکرد سامانه‌های کنترل مکانیکی و الکترونیکی ساخته‌شده نشان‌دهنده سرعت پاسخ بالاتر در واحد زمان اندازه‌گیری شده و افزایش قدرت مانور بود. شکل ۳ این جابجایی را در تکرارهای مختلف نشان می‌دهد.



شکل ۳ میزان جابجایی اسپول شیر کنترل پمپ هیدرولیک در سامانه‌های کنترلی مختلف

در ارزیابی سامانه کنترل الکترونیکی مصرف سوخت، میزان اختلاف مصرف سوخت در حین برداشت نیشکر توسط ماشین برداشت در حالت کنترل مرسوم مکانیکی و حالت کنترل خودکار الکترونیکی ۲/۲۹ لیتر بر ساعت به دست آمد. مقایسه میانگین نشان داد حالت کنترل خودکار الکترونیکی نسبت به حالت کنترل مکانیکی ۶٪ کاهش مصرف سوخت داشت.

نتیجه‌گیری

تبدیل سامانه‌های مرسوم کنترل مکانیکی به نوآوری‌های جدید کنترل الکترونیکی، تلفیق کامل و قابل تنظیم یک سامانه کنترلی را به همراه کارایی بهتر، ایمنی و قابلیت اطمینان بالاتر و تعمیر و نگهداری کمتر، سبکی وسایل نقلیه، اشغال فضای کمتر، کاهش صدا و ارتعاشات مکانیکی، صرفه‌جویی در مصرف سوخت، کاهش آلودگی و ذخیره انرژی و حفاظت از محیط‌زیست را در پی دارد و درنهایت امکان طراحی انعطاف‌پذیرتر را فراهم می‌کند [۷] . ازآنجایی‌که تولیدکنندگان در زمینه صنعت، متوجه مزیت تکنولوژی جدید سامانه‌های کنترل الکترونیکی شده‌اند، تمایل دارند که عملکردهای مختلف تجهیزات به‌طور فزایندی خودکار شده و به‌صورت الکترونیکی کنترل شوند [۱۲] . در این پژوهش، نتایج نشان داد پیاده‌سازی سامانه‌های کنترل الکترونیکی بر روی ماشین برداشت نیشکر باعث افزایش قدرت مانور و افزایش سرعت پاسخ ماشین برداشت و همچنین کاهش مصرف سوخت نسبت به حالت مکانیکی می‌شود.

مراجع:

۱. اصغرلو، ن. ۱۳۹۴. سامانه کنترل عمق شخم الکتروهیدرولیکی برای ادوات خاک‌ورزی، نهمین کنگره ملی مهندسی ماشین‌های کشاورزی و مکانیزاسیون. ۲ و ۳ اردیبهشت ماه ۹۴. دانشگاه تهران.

۲. اصغر لو، ن.، علیمردانی، ر.، مینایی، س. و برقعی، ع. م. ۱۳۸۹. طراحی، ساخت و ارزیابی سامانه کنترل الکترونیکی درصد لغزش برای تراکتور MF399، ششمین کنگره ملی مهندسی ماشین‌های کشاورزی و مکانیزاسیون. تهران، دانشگاه تهران.

۳. خدادادی، ح و رشیدی، ع.ا. ۱۳۹۲. طراحی و ساخت یک موتور احتراق داخلی بدون میل بادامک با سوپاپ هوشمند، هشتمین همایش بین‌المللی موتورهای درون‌سوز و نفت. ۲۸ تا ۳۰ بهمن ۹۲. تهران، شرکت تحقیق، طراحی و تولید موتور ایران خودرو.

۴. فروزان مهر، س. ا. و لغوی، م.۱۳۹۱. طراحی، ساخت و ارزیابی کودکار با توانایی کاربرد میزان متغیر کود، هفتمین کنگره ملی مهندسی ماشین‌های کشاورزی و مکانیزاسیون. شیراز، دانشگاه شیراز.

۵. کیان مهر، م.، منتظری، م. و جعفری، س. ۱۳۸۸. طراحی و ساخت درایو الکتریکی سامانه کنترل دبی سوخت با استفاده از موتور پله‌ای ۵ فاز. دهمین کنفرانس ملی مهندسی ساخت و تولید، بابل، دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل.

6. Adachi, K., Ochi, Y. and Kanai, K. 2006. Development of CVT Control System and its use for Fuel-Efficient
7. Operation of Engine. Asian Journal of Control, 8 (3): 219-226.
8. Balajee, S. B., Balaji, P., Shreyas, J., and Satheesh, K. 2015. An Overview of X-By Wire Systems. International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology, 4(3) March, pp. 152-159.
9. Balakrishnan, J. 2013. Steer by wire in agricultural tractors. International Journal of Scientific and Engineering Research, 4(7):1303-1311.
10. Buning, E.A. 2010. Electric drives in agricultural machinery – approach from the tractor side 21st Annual Meeting Bologna. EIMA International. 13 page .
11. Giani, P., Tanelli, M., Savaresi, S. M., and Selmanaj, D. 2014. Electro-mechanical clutch-by-wire for sport motorcycle. European controlconference (ECC). July, pp. 1109-1116.
12. Gorane, P.S., Nikhil, P., Shubham, p., Ganesh, P., and Madhuri, R., 2017. DRIVE BY WIRE TECHNOLOGY, 7th International conference on Resent Trends in Engineering, Science & Management, April, pp. 1301-1306.
13. Kalinowski, J., Drage, T. 2014. Drive-By-Wire for an Autonomous Formula SAE Car. Proceedings of the 19th World Congress the International Federation of Automatic Control (IFAC), Cape Town, South Africa, 62(5): 8457-8462.
14. Magalhaes, 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. Agriculture Engineering, 28(2): 274-282.

15. Matickainen, V., Lehmuspelto, T., Visala, A. 2016. Electromechanical steering of an articulated vehicle.
16. Wang, Y.Q. 2005.Shift-by-wire transmission actuator assembly. United States Patent.13 page. (Patent No: 6,918,314B2).
17. Wiberg, J. 2003. Controlling a Brushless DC Motor in a Shift-by-Wire System. Msc thesis on Electrical Engineering. Linkopings University. 59 page.
18. Yu, Z.Q., Hu, M.J., Pei, X. and Ruan, J. 2006. Actuation and Control of a Micro Electrohydraulic Digital. Actuation and Control of a Micro Electrohydraulic Digital Servo Valve, 48: 264–268.