مهندسی بیوسیستم ایران، دوره ۴۸, شماره ۱، بهار ۱۳۹۶ (ص ۱۶۳ – ۱۵۵)

طراحی و پیاده سازی سامانه تنظیم کشش الکتروهیدرولیکی برای تراکتور مسی فرگوسن با به کارگیری شیر

كنترل الكترونيكي جديد

نوروز مرادینژاد 🕷

 استادیار، گروه مکانیک بیوسیستم، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تبریز (تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۶/۱۴ – تاریخ تصویب: ۱۳۹۵/۱۰/۱۸)

چکیدہ

در این تحقیق با به کارگیری شیر کنترل الکترونیکی اتصال سه نقطه جدید، سامانه کنترل کشش الکتروهیدرولیکی طراحی، ساخت و بر روی تراکتور MF285 نصب شد. اجزای سامانه الکتروهیدرولیکی شامل حسگر نیروی کشش، حسگر عمق شخم، PLC، موتور پلهای و درایور آن، شیر کنترل و صفحه نمایشگر می باشد. نتایج آزمونهای کارگاهی نشان داد که عملکرد سامانه در پاسخ به تغییرات پله ای نیروی کشش رضایت بخش بود و موقعیت گاوآهن متناسب با نیروی اعمال شده تغییر داده شد. همچنین در زمان ثابت بودن نیرو، سامانه کنترل کاملا پایدار بود. نتایج آزمایشهای مزرعهای نیز نشان داد که در تمامی تیمارها بین میانگین درصد لغزش چرخ ها و مصرف سوخت سامانههای هیدرومکانیکی و الکتروهیدرولیکی اختلاف معنی داری وجود داشت (0.05P). سامانه الکتروهیدرولیکی در مقایسه با سامانه هیدرومکانیکی در حداکثر سرعت پیشروی و حداکثر نیروی کشش تنظیمی، درصد لغزش و مصرف سوخت را به ترتیب ۴۶/۶ درصد و ۲۹/۳ درصد کاهش داد.

کلید واژگان : کنترل کشش الکتروهیدرولیکی تراکتور، بازده کششی، درصد لغزش، مصرف سوخت

مقدمه

منظور كنترل عمق شخم (موقعیت) ارائه شده اند (Anthonis : (et al., 2004; Saeys et al., 2008; Moradasgharloo, 2015 آن جا که عملکرد کششی تراکتور بر روی درصد لغزش و مصرف سوخت تاثیر گذار است، بنابراین بهینه سازی عملکرد تراکتور به ویژه در عملیات خاکورزی ضروری می باشد (Damanauskas Pranav et al.(2012). (& Janulevicius, 2015 سامانه كنترل خودکار درصد لغزش چرخ های تراکتور را ارائه دادند و نتایج مزرعه ای نشان داد که در سامانه کنترل درصد لغزش در مقایسه با سامانه کنترل کشش موجود بر روی همان تراکتور، مصرف سوخت کاهش (۲۰-۳۰ درصد)، ظرفیت مزرعه ای افزایش (۲۸-۷ درصد) و بازده کششی افزایش معنی داری (۱۰-۴ درصد) داشتند. نتایج آزمون های مزرعه ای برای سامانه كنترل الكترونيكي درصد لغزش ديگر نشان داد كه سامانه کنترل درصد لغزش در مقایسه با سامانه مکانیکی کشش بازده كششى بالاترى دارد (Ismail et.al., 1983). (Kolator, (1999) از یک تراکتور مجهز به سامانه کنترل الکتروهیدرولیکی اتصال سه نقطه شرکت بوش آلمان برای آزمایش های مزرعه ای استفاده کرد. نتایج نشان داد که در موقع استفاده از سامانه مکانیکی، دامنه تغییرات عمق شخم و نیروی کششی به ترتیب ۱۶ سانتی متر و ۷/۸ کیلو نیوتن بود در حالیکه این مقادیر برای سامانه الکتروهیدرولیکی به ترتیب ۶/۷۴ سانتی متر و ۵/۷۶ کیلو نیوتن به دست آمدند. (Chancellor & Zangh, (1989) سامانه کنترل لغزش خودکار لغزش چرخ تراکتور را ارائه دادند که نتایج آزمون

امروزه تراکتور منبع اصلی قدرت در عملیات های کشاورزی از جمله در مرحله خاکورزی به حساب می آید. بهینه سازی تراکتورها و ماشین های کشاورزی می تواند باعث صرفه جویی در هزینه ها و افزایش درآمد کشاورزان گردد(,Yule et al., 1999). سامانه های الکترونیکی به طور گسترده ای جهت نمایش یا کنترل پارامترهای عملکردی تراکتورها و ادوات كشاورزى استفاده مى شوند تا از اين طريق عملكرد ماشين ها بهبود و فعالیت فیزیکی راننده کاهش یابد(Scarllett, 2001). Scarllett (1993) کارهای انجام شده در زمینه سامانه های کنترل خودکار تراکتور را بررسی و یک سامانه کنترل کامل و مرکزی برای استفاده در تراکتورها پیشنهاد داد. تاکنون چندین سامانه کنترل خودکار تراکتور و ادوات توسط مخترعین ارائه شده اند که در آن ها از شیرهای سولونوئیدی جهت کنترل روغن تحت فشار استفاده شده است (schuber & orbach,) Wiegard & Hanks, 1985). كارهايي از قبيل مدل دینامیکی، شبیه سازی و طراحی کنترل کننده برای سامانه اتصال سه نقطه تراکتورها ارائه شده است(Morselli et. al., اتصال 2006; Oksanen, 2007; Saeys et al. 2007; Saeys et al., 2004). همچنین سامانه های الکترونیکی اتصال سه نقطه به

e n.morad@iaut.ac.ir ؛ نویسنده مسئول • noroozmoradi@yahoo.com

های مزرعه ای با گاوآهن صرفه جویی ۷/۶ درصد در مصرف سوخت و ۴/۹ درصد در زمان در واحد سطح را نشان داد. (2015) Osinenko *et al.* (2015) روشی برای کنترل بهینه کشش از طریق اندازه گیری و پسخورد گشتاور محرک چرخ ها ارائه دادند. نتایج شبیه سازی نشان داد که عملکرد این روش در مقایسه با روش های موجود بهتر بود. (2008) Kovacev *et al.* (2008) مقایسه قرار عملکرد یک نوع سامانه الکتروهیدرولیکی اتصال سه نقطه را با سامانه هیدرومکانیکی موجود در روی تراکتور مورد مقایسه قرار دادند و نتایج نشان داد که درصد لغزش در سامانه الکتروهیدرولیکی در مقایسه با نوع هیدرومکانیکی ۳۰ درصد کمتر بود.

سامانه کنترل کشش مکانیکی موجود در روی تراکتورهای مسی فرگوسن ساخت داخل ضعیف بوده و با تاخیر زیاد عمل می کنند و این کار باعث افزایش بار روی تراکتور و در نتیجه کاهش بازده کششی تراکتور می گردد. این مشکل از آن جا ناشی می شود که مکانیزمی برای تنظیم حساسیت بالاروی سامانه كنترل مكانيكي اتصال سه نقطه تراكتور تعبيه نشده است تا از طریق آن بتوان عملکرد تراکتور را افزایش داد. محققین بر این عقیده اند که در سامانه های کنترل کشش مکانیکی، اپراتور تراکتور مجبور می شود در کار کنترلی دخالت کرده و اهرم کنترل کشش را جابجا کند و این کار به کاهش بازده کششی تراکتور منجر می شود(; Pranav et al., 2012 Cowell & Milne, 1999). بنابراین توسعه یک سامانه کنترل الکتروهیدرولیکی با حساسیت بالا روی و پایین روی مناسب، ارزان قیمت و سازگار با تکنولوژی تراکتورهای ساخت داخل ضروری می باشد. تفاوت این سامانه با سامانههای الکتروهیدرولیکی تجاری و موجود، استفاده از شیر کنترل جدید است. شیر کنترل جدید از لحاظ ساختاری با شیرهای سولونوئیدی مورد استفاده در سامانه های تجاری تفاوت دارد. اهداف این تحقیق عبارتند از: ۱) طراحی و ساخت سامانه کنترل كشش الكتروهيدروليكي با به كارگيري شير كنترل الكترونيكي اتصال سه نقطه جدید ۲) ارزیابی کارگاهی سامانه کنترل طراحی شده ۳) مقایسه عملکرد مزرعه ای سامانه الكتروهيدروليكي با سامانه مكانيكي موجود بر روى همان تراكتور.

مواد و روشها

در این تحقیق یک شیر کنترل جهت و جریان تناسبی با قابلیت کنترل الکترونیکی توسط موتور پله ای طراحی، ساخت و بر روی تراکتور مسی فرگوسن مدل ۲۸۵ نصب گردید. جزئیات

مربوط به طراحی و ساخت شیر کنترل در مقاله دیگری ارائه شده است (Moradasgharloo, 2015). با به کارگیری شیر کنترل جدید، سامانه کنترل کشش خودکار هیدرومکانیکی به سامانه الکتروهیدرولیکی تغییر داده شد. سامانه کنترل کشش الکتروهیدرولیکی شامل شیر کنترل الکترونیکی اتصال سه نقطه به همراه موتور پله ای، درایور موتور پله ای، حسگر نیروی کشش، حسگر عمق شخم، PLC و صفحه نمایشگر می باشد.

سامانه كنترل كشش الكتروهيدروليكي

در سامانه هیدرولیک تراکتور مسی فرگوسن مدل ۲۸۵، دبی روغن ورودی به پمپ هيدروليک توسط مقسم پمپ هیدرولیک(شیر کنترل) کنترل می شود. در سامانه کنترل کشش هیدرومکانیکی، مقسم توسط اتصالات مکانیکی به صورت کشویی جابجا و کنترل می گردد. بر این اساس شیر کنترل جدید در ورودی پمپ هیدرولیک تراکتور مسی فرگوسن مدل ۲۸۵ نصب شد (شکل۱). طرح شیر کنترل به گونه ای است که بتواند سه عمل مکش، خلاص و تخلیه را انجام دهد. این شیر از نوع چهار راهه سه وضعیتی است و همزمان نقش شیر کنترل جهت و جریان را ایفا می کند، بدین صورت که با حرکت تدريجي خود ارتباط كانال ها را به صورت تدريجي و تناسبي تغيير مي دهد و اين عمل باعث مي شود كه ضمن كنترل جهت جریان، دبی روغن نیز به صورت تناسبی کنترل گردد. ابتدا شیر کنترل ساخته شده در فشارهاری کاری بالا(۲۰۰ بار) در کارگاه تست گردید و عملکرد آن از لحاظ نشتی قابل قبول مشاهده شد(نشتی خارجی آن تقریبا صفر بود). برای اطمینان از دبی مناسب شیر کنترل، آزمون مشاهده ای در کارگاه انجام شد. در این آزمون مدت زمان لازم برای بالاروی کامل گاوآهن متصل به اتصال سه نقطه تراکتور در حداکثر میزان باز بودن دریچه ورودی شیرهای کنترل الکترونیکی و مکانیکی موجود در روی تراکتور اندازه گیری شدند و مشاهده گردید که سرعت بالاروی گاوآهن در هر دو شیر کنترل تقریبا برابر است. بنابراین می توان گفت که شیر کنترل ساخته شده از حداکثر دبی کافی برخوردار است (در کاتالوگ پمپ هیدرولیک تراکتور ۲۶ لیتر در دقیقه می باشد). سرعت بالاروی بازوها تقریبا ۱۵ سانتی متر در ثانیه بود (Moradasgharloo, 2015). شیر کنترل به صورت موازی با شیر کنترل موجود در روی پمپ هیدرولیک تراکتور متصل شد طوری که هر دو شیر کنترل بتوانند به صورت مستقل عمل کنند. سپس موتور پله ای با استفاده از یک کوپلینگ به قسمت عقبی شیر کنترل سوار گردید و محور موتور پله ای با روتور شیر کنترل کوپل شدند (شکل ۲). در موقع استفاده از سامانه کنترل مراد اصغر لو : طراحی و پیاده سازی سامانه تنظیم کشش الکتروهیدرولیکی برای... ۱۵۷

الکتروهیدرولیکی، شیر کنترل موجود در روی پمپ هیدرولیک تراکتور در حالت خنثی قرار داده شد و برعکس. موباب فشارشکی موباب فشارشکی



شکل ۱. مدار هیدرولیکی سامانه کنترل.



شکل ۲. شیر کنترل و موتور پله ای نصب شده بر روی تراکتور. در این تحقیق از روش چرخ پنجم، شناور در جهت عمودی، برای اندازه گیری عمق شخم استفاده شد. مکانیزم چرخ پنجم طوری بر روی شاسی گاواهن برگردان دار نصب گردید که امکان جابجایی در جهت عمودی داشته باشد و بتواند در پشت چرخ عقب سمت چپ تراکتور حرکت کند (Moradasgharloo, 2015). قبل از شروع آزمایش های مزرعه ای، عمق شخم در پنج عمق مختلف به صورت همزمان با استفاده از یک متر با دقت سانتی متر و همچنین حسگر عمق اندازه گیری شدند و این کار برای چندین مسیر کاری مختلف تکرار گردید. نتایج نشان داد که حسگر عمق از دقت کافی برخوردار است (شکل ۳).



برای اندازه گیری نیروی کششی تراکتور از یک لودسل

کششی S شکل مدل LASUX با ظرفیت پنج تن استفاده گردید. خروجی لودسل با استفاده از یک تقویت کننده متناسب با نیروی اعمالی از صفر تا ۱۰ ولت تقویت شد. ولتاژ خروجی تقویت کننده توسط واحد ورودی آنالوگ در PLC دریافت شد.

در این تحقیق از یک PLC مدل امرن به عنوان پردازشگر استفاده شد. PLC شامل یک واحد CPU مدل CP1L-J14D و یک واحد ورودی آنالوگ مدل CP1W-AD041 می باشد. این پردازنده به دلیل داشتن قابلیت های بالا و قیمت پایین انتخاب گردید. واحد CPU دارای هشت ترمینال ورودی دیجیتال و شش ترمینال خروجی دیجیتال و واحد ورودی آنالوگ دارای چهار ترمینال ورودی می باشد. محدوده سیگنال ورودی های آنالوگ از ۰ تا ۵ ولت تنظیم شدند. واحد ورودی آنالوگ سیگنال های دریافتی از پتانسیومترها را دریافت و مطابق محدوده ولتاژ انتخاب شده و همچنین برنامه نوشته شده در حافظه CPU به مقادیر دیجیتال تبدیل می کند(۲ میلی ثانیه). برای ورودی های آنالوگ از تابع میانگین گیری استفاده شد که این تابع از هشت مقدار ورودی آنالوگ اخیر میانگین گیری کرده و میانگین آن ها را به عنوان مقدار خروجی دیجیتال به واحد CPU تحویل می دهد. در اندازه گیری انجام شده، گشتاور موردنیاز برای چرخاندن روتور شیر کنترل، هشت کیلوگرم نیرو در سانتیمتر تعیین شد. بر این اساس از یک موتور پله ای مدل سانیو با گشتاور ۱۳ کیلوگرم در سانتیمتر و درایور دو فاز مدل مونز آلمان با ولتاژ تغذیه ۲۴ تا ۴۸ ولت DC جهت چرخش شیر كنترل استفاده گرديد. اپراتور قادر است شدت جريان برق و میزان چرخش به ازای یک پله را تنظیم نماید. زاویه چرخش به ازای هر پله ۱/۸ درجه انتخاب گردید. یک صفحه نمایشگر لمسى ساخت شركت امرن مدل NB5Q-TW00B براى نمايش مقادیر اندازه گیری شده و وارد کردن مقادیر تنظیمی نیروی کشش، عمق شخم و ناحیه مرگ به کار برده شد (شکل ۴).



۱. باطری ۱۲ ولت ۲. مبدل ۱۲ به ۲۲۰ ولت ۳. مبدل ۲۲۰ به ۲۴ ولت ۴. کنترل کننده(PLC) ۵. درایور موتور پله ای ۶. نمایشگر ۷. تقویت کننده خروجی لودسل شکل ۴**. اجزای واحد کنترل کننده سامانه الکتروهیدرولیکی**

روش کنترل سامانه کنترل کشش تراکتورها بر اساس ترکیب نیروی کشش و

عمق شخم عمل مي كنند. الگوريتم كنترل بدين صورت است: اگر نیروی کشش اندازه گیری شده کمتر از نیروی تنظیمی باشد، عمق شخم افزایش داده می شود. با افزایش عمق شخم، سیگنال خطای عمق کاهش می یابد و در نهایت خطای عمق صفر می شود(یا در محدوده ناحیه مرگ قرار می گیرد). اگر نیروی اندازه گیری شده بیشتر از نیروی تنظیمی باشد، عمق شخم کاهش داده می شود(گاوآهن بالا برده می شود) تا سیگنال خطای نیرو کاهش تا در نهایت صفر گردد. تا زمانیکه سیگنال خطای نیرو صفر باشد، شخم در همان عمق ادامه می یابد. اگر نیروی اندازه گیری شده دوباره افزایش یا کاهش یابد، عمق شخم نیز به ترتیب کاهش یا افزایش می یابد. بنابراین اولویت با سیگنال خطای نیرو است بدین صورت که اگر سیگنال خطای نیرو مثبت باشد عمق شخم کاهش می یابد، اگر صفر باشد عمق ثابت باقی می ماند. اگر سیگنال خطای نیرو منفی باشد، عمق شخم متناسب با سیگنال خطای عمق تغییر داده مى شود. دياگرام بلوكى سامانه كنترل كشش الكتروهيدروليكى در شکل ۵ نشان داده شده است. ابتدا نیروی کشش، عمق شخم موردنظر و ناحیه مرگ در صفحه نمایشگر تنظیم شدند. سیگنال های خروجی حسگرها توسط PLC دریافت و نیروی کشش و عمق شخم واقعی در فواصل زمانی منظم و مشخص محاسبه شدند. سیگنال خطا به صورت اختلاف بین مقادیر اندازه گیری شده و تنظیمی محاسبه و با مقدار ناحیه مرگ مقایسه شدند.

زمانی که سیگنال خطا در محدوده ناحیه مرگ بود، موتور پلهای عمل نمی کرد. در صورتی که سیگنال خطا بزرگتر از حد بالایی یا کوچکتر از حد پایینی ناحیه مرگ بود، تعداد پالس موردنیاز جهت چرخش موتور پله ای متناسب با سیگنال خطا محاسبه و توسط واحد خروجی دیجیتال به درایور موتور پله ای ارسال شد. موتور پله ای نیز مطابق با سیگنال فرمان، شیر کنترل را در جهت عقربه های ساعت یا عکس آن چرخاند. با قرار گرفتن شیر کنترل در وضعیت های بالاروی یا پایین روی، بازوهای اتصال سه نقطه به طرف بالا یا پایین جابه جا شده و از این طریق نیروی کشش تراکتور کنترل گردید.

روش آزمایش

آزمون های کارگاهی و مزرعه ای به منظور ارزیابی عملکرد سامانه کنترل الکتروهیدرولیکی انجام شدند. در این آزمایش ها از یک دستگاه تراکتور MF 285 مجهز به سامانه کنترل کشش الکتروهیدرولیکی و یک دستگاه گاوآهن برگردان دار سه خیش استفاده گردید. در گام اول با انجام آزمایش هایی، سرعت بالاروی بازوهای اتصال سه نقطه، ارتباط بین تعداد پالس ها و میزان جابجایی بازوها و فرکانس سیگنال فرمان (سرعت موتور پله ای) مشخص شدند.



شكل ۵. دياگرام بلوكي سامانه كنترل الكتروهيدروليكي.

در حین انجام آزمایش های کارگاهی مقادیر مورد نظر از طریق نمایشگر لمسی تنظیم شدند و تمامی سیگنالها در حافظه PLC ذخیره شدند.

آزمایشهای اولیه نشان داد که ارتفاع بازوهای بالابر از ۳۵ سانتی متر تا ۱۰۵ سانتی متر از سطح زمین در مدت زمان ۴/۵ ثانیه تغییر کرد(سرعت بالاروی تقریبا ۱۵ سانتی متر بر ثانیه). حداکثر سرعتی که در آن موتور پله ای قادر بود به راحتی شیر کنترل را بچرخاند، ۱۵۰ دور بر دقیقه تعیین گردید. بنابراین فرکانس سیگنال فرمان برای سامانه کنترل، ۴۰۰ هرتز (سرعت ۱۲۰ دور بر دقیقه برای موتور پله ای) انتخاب شد. زاویه

چرخش شیر کنترل برای باز شدن کامل دریچه ورودی از ۲ تا ۶۲ درجه از وضعیت خنثی می باشد(۳۴ پالس برای چرخش موتور پله ای در حالت پله کامل). برای باز شدن کامل دریچه تخلیه (حالت پایین روی)، زاویه چرخش روتور شیر کنترل ، ۲۷ درجه می باشد(۱۵ پالس). با توجه به فرکانس انتخاب شده برای سیگنال فرمان(۲۰۰ هرتز)، زمان لازم برای ارسال ۳۵ عدد پالس به موتور پله ای جهت باز شدن کامل دریچه ورودی شیر کنترل ، کمتر از یک دهم ثانیه می باشد. بنابراین سرعت پاسخ سامانه الکترونیکی جهت کنترل موتور پله ای و شیر کنترل در عملیات خاکورزی بسیار مناسب است. مراد اصغر لو : طراحی و پیاده سازی سامانه تنظیم کشش الکتروهیدرولیکی برای... ۱۵۹

خاک گردید (RNAM, 1983): مایش (رابطه ۲) $M = \frac{A - B}{A} = 300 \times \frac{(P - A)}{A} = 300 \times$

نتايج و بحث

عملكرد كارگاهي سامانه كنترل كشش الكتروهيدروليكي پاسخ سامانه کنترل کشش الکتروهیدرولیکی به تغییرات نیروی کششی در مقادیر تنظیمی دو و سه کیلونیوتن با ناحیه مرگ یک کیلونیوتن، فاصله زمانی ارسال فرمان ۰/۲ ثانیه و فاصله زمانی داده برداری ۳/۰ ثانیه در شکل ۶ نشان داده شده است. عمق شخم ۳۰ سانتی متر و با ناحیه مرگ چهار سانتی متر و دور موتور تراکتور روی دور مشخصه ۲۰۰۰ دور در دقیقه تنظیم گردید. برای اعمال نیرو در گارگاه لودسل کششی پنج تنی از یک طرف به جلوی تراکتور و از طرف دیگر به ستونی توسط سیم بکسل بسته شد و تراکتور با دنده عقب سنگین به آرامی حرکت داده شد تا لودسل تحت کشش قرار گیرد. همانطور که در شکل ۶ مشاهده می شود در ابتدا زمانیکه نیرو کمتر از دو یا سه کیلونیوتن بود، ارتفاع یا عمق در ۳۰ سانتی متر قرار داشت و در همان عمق ادامه یافت. بتدریج که نیروی اعمال شده افزایش یافت، عمق با سرعت مناسبی کاهش یافت(گاوآهن بالا برده شد). سپس نیرو در دو یا سه کیلونیوتن ثابت نگه داشته شد، در این حین عمق نیز ثابت نگه داشته شد که نشان از پایداری سامانه کنترل می باشد. دوباره با افزایش نیروی اعمال شده به بیشتر از دو یا سه کیلونیوتن، عمق شخم نیز جهت كاهش نيرو كاهش يافت تا اينكه عمق به صفر سانتي متر رسيد. سپس نیرو به سرعت کاهش داده شد و کمتر از دو یا سه کیلونیوتن شد، در این حین عمق شخم تا حداکثر عمق تنظیمی (۳۰ سانتیمتری) افزایش یافت (گاوآهن پایین برده شد).

عملکرد سامانه کنترل در پاسخ به تغییرات نیروی کشش رضایت بخش بود و عمق شخم متناسب با نیروی کششی تغییر داده شد. نتایج نشان داد که سامانه در کنترل عمق، زمانی که نیروی کشش ثابت نگه داشته شد و یا در محدوده ناحیه مرگ قرار داشت، کاملا پایدار بود. در حالت پایداری، سامانه کنترل به خوبی تغییرات نیروی کششی را دنبال کرد و عمق شخم را در محدوده ناحیه مرگ نگه داشت(شکل ۶). آزمایش های دیگر نیز نتایج مشابهی داشتند. این نتایج با نتایج تحقیقات دیگر

آزمونهای میدانی در مزرعه دانشگاه تبریز با بافت خاک شنی لومی و در رطوبت تقریبا ۱۵درصد و به صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح بلوک های کامل تصادفی و با سه تکرار انجام شدند. تيمارها شامل دو نوع سامانه كنترل (الکتروهیدرولیکی و هیدرومکانیکی)، سه سطح سرعت پیشروی (V1=2.5, V2=3.6, V3=5 Km/h) و سه سطح مقادير تنظيمي نيروی کششی بودند. در سامانه هيدرومکانيکی، سه موقعيت مختلف اهرم کنترل کشش به عنوان مقادیر تنظیمی کشش انتخاب شدند. قبل از انجام آزمایش های اصلی، آزمایشهای مقدماتی به منظور مشخص شدن مقادیر نیروی کششی در سه موقعیت مختلف اهرم کنترل کشش انجام شدند. با توجه به اینکه در آزمایش های مقدماتی، میانگین نیروهای کششی اندازه گیری شده برای سه موقعیت مختلف اهرم کنترل به ترتیب ۶، ۸ و ۱۰ کیلونیوتن بدست آمدند، بر این اساس مقادیر مذکور به عنوان سطوح مقادیر تنظیمی نیروی کششی برای سامانه الکتروهیدرولیکی در نظر گرفته شدند. در تمامی آزمایشهای مزرعه ای حداکثر عمق شخم برای سامانه الكتروهيدروليكي ٢۵ سانتي متر انتخاب گرديد. مقادير اندازه گیری شده جهت ارزیابی و مقایسه عملکرد سامانهها شامل مصرف سوخت، درصد لغزش چرخ های محرک، نیروی کششی، مقاومت غلتشی و عمق شخم گاوآهن بودند.

سوخت مصرفی تراکتور با استفاده از یک سامانه اندازه گیری متشکل از یک استوانه مدرج ۵۰۰ سی سی سی عنوان مخزن و یک عدد شیر کنترل جهت اندازه گیری شد. نیروی کششی ناخالص و مقاومت غلتشی با استفاده یک نیروسنج کششی با روش آزمون دو تراکتوری اندازه گیری شدند. نیروسنج مابین دو تراکتور قرار داده شد. تراکتور عقبی یک نیروسنج مابین دو تراکتور قرار داده شد. تراکتور عقبی یک الکتروهیدرولیکی و گاوآهن بود که در حین انجام آزمایش ها در وضعیت خلاص قرار داشت. تراکتور جلویی یک دستگاه تراکتور واندیر مدل ۲۱۴۰ به عنوان کشنده بود. نیروی کشش خالص از تفریق مقاومت غلتشی و نیروی کشش ناخالص محاسبه گردید (RNAM, 1983; Soltani & Loghavi, 2007)

بازده کششی تراکتور از رابطه زیر محاسبه گردید Ranjbarian *et al.*, 2015; Fakhraei & Karparvarfard,) : (2008; Karimi *et al.*, 2012)

 $T.E = \frac{P}{P+R}(1-S)$ (رابطه۱) P: نیروی کششی(KN)، R: مقاومت غلتشی (KN) و S: درصد لغزش چرخ های محرک(درصد). برای محاسبه درصد لغزش نیز از فرمول زیر استفاده



همخوانی دارد (, 1998; Anthonis, et al., 2004;) همخوانی دارد (Saeys et al., 2008).

شکل ۶. پاسخ گذرای سامانه الکتروهیدرولیکی، هر یک واحد در روی محور زمان: ۳/۰ ثانیه

عملكرد سامانه هاي كنترل

داده های مزرعه ای مربوط به ماکزیمم، میانگین و انحراف معیار نیروی کشش برای هر دو سامانه در جدول ۱ نشان داده شده است. دادهها نشان میدهد که انحراف معیار سامانه الکتروهیدرولیکی در مقایسه با سامانه هیدرومکانیکی در تمامی Jablonicky et al., 2014; با سامانه میدرومکانیکی در تمامی تیمارها کمتر بودند (;0ksanen,2007 نیرو و حداکثر سرعت پیشروی، میانگین نیروی کشش برای سامانه های الکتروهیدرولیکی و هیدرومکانیکی به ترتیب ۹/۵۶ و ۱۱/۱۴ کیلونیوتن بودند (۱۴درصد کاهش نیر

کششی) که این امر به کاهش قابل ملاحظه ای در درصد لغزش و مصرف سوخت در سامانه الکتروهیدرولیکی منجر گردید. این نتیجه با نتایج (Kovacev et al.(2008)، Chancellor

Zangh, (1998) و Pranav et. al (2012) و Zangh, (1998) مشابهت دارد که آن ها نیز مصرف سوخت کمتر سامانه کنترل الکترونیکی درصد لغزش را در مقایسه با سامانه مکانیکی کشش گزارش کردند.

همچنین نتایج نشان داد که سامانه الکتروهیدرولیکی قادر بود نیروی کشش را به خوبی و در فاصله خیلی نزدیک به مقادیر تنظیمی کنترل کند ولی در موقع استفاده از سامانه هیدرومکانیکی نیروی اندازه گیری شده و انحراف معیارها خیلی بالاتر بودند و این کار در بعضی موارد باعث افزایش درصد لغزش چرخ ها تا آستانه خاموش شدن تراکتور منجر می شد. در نتیجه راننده مجبور می شد در کار کنترل دخالت و اهرم کنترل را جابجا کند تا از کاهش بیش از حد سرعت تراکتور جلوگیری نماید. لازم به ذکر است که در موقع استفاده از سامانه الکتروهیدرولیکی این گونه مشکلات مشاهده نشد.

سرعت پیشروی، 4mh ⁻¹	مقادیر تنظیمی نیرو، kN	سامانه هيدرومكانيكي			سامانه الكتروهيدروليكي		
		مصرف سوخت، Lha ⁻¹	نیروی کشش kN،(±SD)	درصد لغزش،%	مصرف سوخت، Lha ⁻¹	نیروی کشش (tSD)، kN،	درصد لغزش، %
۶	۲/۵	۳۶/۶ ^{de}	۸/۹۵ ^{efg} (±۱/۱۶)	۱۴/۱ ^{efgh}	۲۶/۲ ^{ijk}	$\Delta/\Upsilon\Delta^k$ (±•/Y)	۳/۴ ^j
	٣/۶	۲۸/۳ ^{hij}	$\lambda/V^{fgh}(\pm \cdot/{\rm ex})$	۱۲/۳ ^{fghi}	۲۴/۱ ^k	۶/۲۲ ^{jk} (±۰/۷۹)	Δ/Y^{ij}
	۵	۳١/۶ ^{gh}	۹/۶۹ ^{ghi} (±۱/۰۵)	VV/\mathcal{F}^{defg}	$\Upsilon \Upsilon / \Upsilon^k$	۶/٣۶ ⁱ (±٠/٩٣)	۱۰/۷ ^{ghi}
٨	۲/۵	۳۷/۷ ^{de}	$1 \cdot \frac{bcd}{(\pm \cdot / \lambda \lambda)}$	۱۸ ^{def}	۳۱/۳ ^{gh}	$\lambda/ r r^{hi} (\pm \cdot / 9\Delta)$	λ/λ^{hij}
	٣/۶	۳۷/۸ ^{de}	$11/77^{abc}(\pm 1/\delta)$	۲۷/۲ ^b	$r \cdot / r^{gh}$	$V/VA^{i}(\pm \cdot /AT)$	۱۲/۱ ^{gfhi}
	۵	۴۰ ^{cd}	$4/4\lambda^{bcd}(\pm 1/V)$	$\Delta \Delta^{bc}$	۲۵/۵ jk	$V/96^{hi}(\pm \cdot/76)$	۱۳/۴ ^{efgh}
١.	۲/۵	۴۲/V ^{bc}	$11/1^{a}(\pm 1/1)$	۲۲ ^{bcd}	rr/r^{fg}	$1 \cdot / \cdot 1^{de}(\pm 1/1)$	۱۷/۹ ^{def}
	۳/۶	49/1 ^b 81/V ^a	$1 \cdot \sqrt{2ab}(\pm 1/7)$ $1 1/14a(\pm 7/1)$	٣۶/1 ^a ۲Л/٣ ^b	۳۵/۸ ^{efg} ۲۹/۲ ^{hi}	$^{9/9}$ $^{\circ}$	۱۹/۲ ^{cdef} ۲۰ ^{cde}

جدول ۱. میانگین درصد لغزش، مصرف سوخت و نیروی کششی سامانه های کنترل، SD= Standard Deviation

* میانگین های دارای حروف مشابه اختلاف معنی داری ندارند(P<0.05)

عملكرد مالبندى

نتايج تجزيه واريانس نشان داد كه اثر سامانه هاي كنترل بر روى درصدلغزش و سوخت مصرفی معنی دار بود (P<۰/۰۵) ولی بین مقادیر عمق شخم و بازده کششی دو سامانه اختلاف معنی داری مشاهده نشد. مقایسه مستقیم داده های دو سامانه نشان داد که در تمامی تیمارها سوخت مصرفی و درصد لغزش سامانه الكتروهيدروليكى در مقايسه با سامانه هيدرومكانيكى كاهش یافت. در کمترین سرعت پیشروی و بیشترین مقدار تنظیمی كشش، بازده كششى، سوخت مصرفى، درصد لغزش، عمق شخم و نیروی کششی برای سامانه الکتروهیدرولیکی به ترتیب ۶۱/۳ درصد، ۳۳/۳ لیتر بر هکتار، ۱۷/۹درصد، ۲۴/۳ سانتی متر و ۹/۷ کیلونیوتن بودند در حالی که این مقادیر برای سامانه هیدرومکانیکی به ترتیب ۶۰/۵ درصد، ۴۲/۷ لیتر بر هکتار، ۲۲ درصد، ۲۲/۸ سانتی متر و ۱۱ کیلونیوتن بودند. نتایج مشابهی نیز در حداکثر مقدار تنظیمی نیرو و حداکثر سرعت پیشروی حاصل گردید، طوری که ۷ درصد افزایش در بازده کششی، ۴۴/۶ درصد کاهش در مصرف سوخت و ۲۹/۳ درصد کاهش در درصد لغزش برای سامانه الکتروهیدرولیکی در مقایسه با سامانه هیدرومکانیکی اتفاق افتاد (جدول ۱ و شکل ۷). این نتیجه با نتايج Pranav et. al, 2012 و Kovacev et al., 2008 همخواني دار د.

میانگین درصد لغزش در سامانه هیدرومکانیکی در بعضی مواقع تا ۳۶ درصد افزایش یافت در حالی که درصد لغزش در سامانه الکتروهیدرولیکی در تمامی تیمارها زیر ۲۰ درصد نگه داشته شد. پایین بودن در صد لغزش به حساسیت بالاروی مناسب و قابل تنظیم سامانه الکتروهیدرولیکی مربوط میشود که در مقابل تغییرات سفتی خاک به موقع واکنش نشان داده و از افزایش درصد لغزش جلوگیری کرده است (Jablonicky et از از افزایش درصد لغزش جلوگیری کرده است (Jablonicky et میانگین نیروی کشش نشان داده و میانگین نیروی کششی در مقایسه با سامانه مکانیکی پایین تر ایکتروهیدرولیکی نسبت به سامانه هیدرومکانیکی پایین تر بود (جدول ۱). همچنین میتوان گفت که کاهش درصد لغزش در سامانه الکتروهیدرولیکی به افزایش سرعت پیشروی منجر شد و تراکتور توانست سطح بیشتری را در واحد زمان شخم بزند و در نتیجه مصرف سوخت تراکتور نیز کاهش یافت.

داده های مربوط به پارامترهای عملکردی مالبندی: بازده کششی، مصرف سوخت، درصد لغزش و عمق شخم در شکل ۷ نشان داده شدهاند. نقاط توپر و توخالی به ترتیب داده های

عملکردی سامانه های هیدرومکانیکی و الکتروهیدرولیکی را نشان میدهند.

در حداکثر بازده کششی سامانه الکتروهیدرولیکی (۶۴/۱ درصد) سوخت مصرفی، درصد لغزش و عمق شخم به ترتیب ۳۱/۳ لیتر بر هکتار، ۸ درصد و ۲۰/۵ سانتی متر بودند در حالی که این مقادیر در حداکثر بازده کششی سامانه هیدرومکانیکی (۲/۸ درصد) به ترتیب ۳۶/۶ لیتر بر هکتار، ۱۴ درصد و ۲۰/۱ سانتی متر بودند. بنابراین در بیشترین بازده کششی نیز سامانه الكتروهيدروليكي باعث كاهش سوخت مصرفي و درصد لغزش به ترتیب ۱۴/۵درصد و ۳۷/۶درصد گردید(شکل ۷). این نتیجه با نتايج (2012) Pranav et al. (2012) و Kovacev et al. همخوانی دارد. مصرف سوخت و درصد لغزش در هر دو سامانه با افزایش مقادیر تنظیمی کشش به طور معنی داری افزایش یافت و این افزایش در سامانه هیدرومکانیکی بیشتر بود ولی اختلاف معنی داری بین میانگین ها در مقدار تنظیمی کشش یکسان و سطوح مختلف سرعت پیشروی مشاهده نشد(شکل ۷). سامانه کنترل کشش از ترکیب نیروی کشش و عمق شخم به عنوان پارامتر های کنترلی استفاده می کند و وظیفه ی آن ثابت نگه داشتن نیروی کشش در تمامی شرایط است و به همین دلیل اثر سرعت پیشروی معنی دار نشده است (جدول ۱).

مشاهده می شود که در حداکثر سرعت پیشروی و حداکثر مقدار تنظیمی کشش، واکنش سامانه هیدرومکانیکی در کنترل کشش ضعیف بود و منجر به کاهش بازده کششی شد (شکل ۷). پایین بودن عملکرد مالبندی سامانه هیدرومکانیکی را میتوان این گونه بیان کرد که با افزایش مقدار تنظیمی کشش و به دنبال آن افزایش عمق شخم، وزن گاوآهن افزایش می یابد و سامانه کنترل نمی تواند به موقع به تغییرات مقاومت کششی گاوآهن واکنش نشان دهد. این مشکل از آن جا ناشی می شود که در سامانه هیدرومکانیکی تراکتورهای مسی فرگوسن ساخت داخل فقط امکان تنظیم حساسیت پایین روی وجود دارد و مکانیزمی برای تنظیم حساسیت بالاروی سامانه تعبیه نشده است ولی در سامانه الکتروهیدرولیکی امکان تنظیم حساسیت بالاروی و پایین روی سامانه اتصال سه نقطه وجود دارد.

نتیجه گیری کلی

سامانه الکتروهیدرولیکی کشش به منظور ثابت نگه داشتن نیروی کششی تراکتور در مقابل تغییرات سفتی خاک طراحی، ساخت و بر روی یک دستگاه تراکتور مسی فرگوسن مدل ۲۸۵ نصب گردید. نتایج آزمایش های کارگاهی نشان دادند که واکنش سامانه در کنترل نیروی کششی رضایت بخش بود و در

۱۶۲ مهندسی بیوسیستم ایران، دوره ۴۸، شماره ۱، بهار ۱۳۹۶

حالت پایداری عمق شخم را در ناحیه مرگ (۲± سانتی متر از عمق تنظیمی) کنترل کرد. نتایج آزمون های مزرعه ای نیز نشان داد که در تمامی تیمارها سامانه الکتروهیدرولیکی نیروی کشش را به خوبی و نزدیک به نیروی کشش تنظیمی کنترل

عملیات شخم با تراکتور راحت تر بود و فعالیت فیزیکی راننده

جهت دخالت در کنترل دستی اهرم کنترل کاهش یافت. با

توجه به اینکه در سامانه هیدرومکانیکی شیر کنترل در ورودی

یمپ هیدرولیک قرار داشت، در سامانه الکتروهیدرولیکی نیز

نمود. در مقادیر تنظیمی یکسان، مصرف سوخت و درصد لغزش در سامانه الکتروهیدرولیکی در مقایسه با سامانه هیدرومکانیکی کمتر بود. به دلیل قابل تنظیم بودن حساسیت بالاروی و پایین روی بازوهای اتصال سه نقطه در سامانه الکتروهیدرولیکی، انجام

قرار گرفتن شیر کنترل در ورودی پمپ با عث ایجاد تاخیر در عملکرد سامانه کنترل کشش می شود. بنابراین پیشنهاد می شود شیر کنترل در خروجی پمپ هیدرولیکی نصب و نتایج آن با نتایج قبلی مقایسه شوند.



شکل ۲. پارامترهای عملکرد مالبندی سامانه های کنترل، d= Draft Set Value Level, V= Ground Speed Level شکل ۲.

مالی دانشگاه آزاد اسلامی واحد تبریز به انجام رسیده است، استخراج شده است.

REFERENCES

- Anthonis, J., Mouazen, A.M., Saeys, W., & Ramon, H. 2004. An Automatic Depth Control System for on-line Measurement of Spatial Variation in Soil Compaction: Part 3. Design of Depth Control System, Biosystems Engineering, 89(1), 59-67.
- Chancellor, W., & Zhang, N. 1989. Automatic wheelslip control for tractors. Transaction of ASAE, 32(1), 17-22.
- Cowell, P. A., & Milne, M. J. 1999. An implement control system using pure draught sensing and modified linkage geometry. Journal of Agricultural Engineering Research, 22, 353–371.
- Damanauskas, V., & Janulevic^{*}ius, A. 2015. Differences in tractor performance parameters between single-wheel 4WD and dual-wheel 2WD driving systems. Journal of Terramechanics, 60, 63–73.
- Fakhraei, O; & Karparvarfard, S.H. 2008. Development of a General Equation For Estimation of Tractive Efficiency by

سیاسگزاری

این مقاله از طرح تحقیقاتی که با بودجه پژوهشی و حمایت

Dimensional Analysis. Tarim Makinalari Bilim Dergisi(Journal of Agricultural Machinery Science), 4(1), 19-26.

- Ismail, S. M., Singh, G., & Gee-Clough, D. 1983. Comparison of the field performance of three implements control systems for a tractor. Journal of Agricultural Engineering Research, 28 (6), 521–536.
- Jablonicky, J., Machal, P., Žikla, A., Kosiba, J., Hujo, L., & Vladislav, H. 2014. Comparing the Hydraulic Control of Tractor Three-point Hitch. Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae endelianae Brunensis, 62(5), 939–944.
- Karimi Inchebron, S., Mousavi Seyedi, R., & Tabatabaekoloor, R. 2012. Performance evaluation of a light tractor during plowing at different levels of depth and soil moisture content. International Research Journal of Applied and Basic Sciences, 3 (3), 626-631.
- Kolator, B. 1999. Mechatronic control of the

مراد اصغر لو: طراحی و پیاده سازی سامانه تنظیم کشش الکتروهیدرولیکی برای... ۱۶۳

implement linkage of agricultural tractors. Retrieved from http:// www. Pan-ol.lublin.

- Kovacev, I., Kosutic, S., Jejcic, V., Copec, K., Gospodaric, Z., Pliestic, S. 2008. Impact of Electronic-Hydraulic Hitch Control on Rational Exploitation of Tractor in Ploughing. Strojarstvo, 50 (5), 287-294.
- Lee, J., Yamazaki, M., Oida, A., Nakashima, H., & Shimizu, H. 1998. Electro-hydraulic tillage depth control system for rotary implements mounted on agricultural tractor - design and response experiments of control system. Journal of Terramechanics, 35(4), 229–238.
- Moradasgharloo, N. 2015. Design, Development and evaluation of Electronic control valve for hydraulic pump of MF 285 Tractor. Journal of Biosystem Engineering, accepted(In Farsi).
- Morselli, R., Zanasi, R., & Ferracin, P. 2006. Dynamic Model of an Electro-hydraulic Three Point Hitch. In Proc. Conf.American Control Conference. Minneapolis:IEEE.DOI:.Oksanen, T. 2007. Control Design Of Hydraulic Actuators In Agricultural Tractor Using Rapid Control Prototyping. In Proc. 2nd IFAC Intl. Conf. AgriControl(pp. 121-125). Osijek, Croatia.
- Osinenko, P.V., Geissler, M., Herlitzius, T. 2015. A method of optimal traction control for farm tractors with feedback of drive torque. Biosystems Engineering, 29, 20–33.
- Pranav, P. K., Tewari, V. K., Pandey, K. P., & Jha, K. R. 2012. Automatic wheel slip control system in field operations for 2WD tractors. Computer and Electronics in Agriculture, 84, 1–6.
- Ranjbarian, S., Askari, M., & Jannatkhah, J . 2015. Performance of tractor and tillage implements in clay soil. Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences, http://dx.doi.org/10.1016/j.jssas.2015.05.003
- Regional Network for Agricultural Machinery(RNAM). 1983. RNAM test codes and procedures of farm machinery. Technical Series No. 12. Bangkok Thailand. 291 p.
- Saeys, W., Mouazen, A. M., Anthonis, J., & Ramon, H. 2004. An automatic depth control system for online measurement of spatial variation in soil compaction, part 2: modelling of the depth control. Biosystems Engineering, 89 (3), 267– 280.
- Saeys, W., Engelen, K., Ramon, H., & Anthonis, J. 2007. An automatic depth control systems for shallow manure injection, part 1: modelling of the depth control system. Biosystems Engieering, 98, 146–154.
- Saeys, W., Wallays, C., Engelen, K., Ramon, H., & Anthonis, J. 2008. An automatic depth control systems for shallow slurry injection, part 2: control design and field validation. Biosystems Engineering, 99, 161–170.
- Scarlett, A. J. 1993. Integration of tractor engine, transmission and implement depth controls: part 2, control systems. Journal of Agricultural Engineering Research, 54, 89–112.

- Scarlett, A. J. 2001. Integrated control of agricultural tractors and implements: a review of potential opportunities relating to cultivation and crop establishment machinery. Computer and Electronics in Agriculture, 7, 269–284.
- Schuber, W. L., & Orbach, A. 2000. Control system for a hitched or trailed implement. U.S. Patent No. 6105679.
- Soltani, A. & Loghavi, M. 2007. The effect of axle load and draft load on fuel consumption and tractive efficiency of two tractors with 4- bottom plow in tillage operation. Environment and Agricultural Science, 40(1): 125-135(in Farsi).
- Wiegard, G. K., & Hanks, T. W. 1985. Vehicle with control system having operator-actuable switch for storing parameter signal value to control vehicle- connected implement raising and lowering structure. U.S. Patent No. 4508176.
- Yule, I. J., Kohnen, G., & Nowak, M. 1999. A tractor performance monitor with DGPS capability. Computer and Electronics in Agriculture, 23, 155–174.