

طراحی، ساخت و ارزیابی شیر کنترل الکترونیکی برای پمپ هیدرولیک تراکتور مسی فرگوسن مدل ۲۸۵

نوروز مراداصغرلو*

۱. استادیار، گروه مکانیک بیوسیستم، واحد تبریز، دانشگاه آزاد اسلامی

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۱/۲۶ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۴/۳/۳۱)

چکیده

تراکتورهای ساخت داخل دارای سامانه کنترل عمق مکانیکی هستند و در زمین های ناهموار عمق شخم غیر یکنواختی ایجاد می کنند. در این تحقیق یک شیر کنترل الکترونیکی از نوع چرخان طراحی، ساخت و با به کارگیری آن، سامانه کنترل الکترونیکی طراحی، ساخت و بر روی تراکتور نصب گردید. این سامانه دارای حسگر عمق شخم، PLC، موتور پله ای و درایور آن، شیر کنترل و صفحه نمایشگر می باشد. در این سامانه، عمق شخم با استفاده از حسگر عمق اندازه گیری و شیر کنترل که با موتور پله ای کنترل می شود، برای کنترل سامانه اتصال سه نقطه استفاده گردید. نتایج آزمایش های کارگاهی نشان داد که سامانه کنترل الکترونیکی در حالت پایداری، تغییرات عمق را به خوبی در محدوده ± 2 سانتی متر کنترل کرد. نتایج مزرعه ای نیز نشان داد که میانگین عمق شخم در سامانه الکترونیکی با اختلاف معنی داری بیشتر از عمق شخم در سامانه مکانیکی بود.

واژه های کلیدی: الکترونیکی، شخم، کنترل عمق، PLC، موتور پله ای

مقدمه

کنترل دقیق و بهتر عمق شخم از تلفات انرژی ناشی از کارکرد ادوات خاک ورزی در عمق های بیش تر از عمق شخم موردنظر جلوگیری می کند. همچنین یکنواخت بودن عمق شخم باعث نفوذ و رشد یکنواخت ریشه ها شده و گیاه می تواند از رطوبت و مواد آلی موجود در خاک بهتر استفاده نماید (scarlett, 2001).

تاکنون چندین سامانه کنترل تراکتور و ادوات طراحی و بر روی تراکتورهای کشاورزی نصب شده اند که در آن ها از نیروی کشش، عمق شخم، درصد لغزش و یاترسی از این ها به عنوان متغیرکنترلی استفاده شده است (Ismail et al., 1981; Chancellor & zhang, 1989; Ayers et al., 1989; Pranava et al., 2012). Lee et al. (1998) سامانه کنترل عمق الکترونیکی برای کنترل عمق کار دستگاه رتیواتور ارائه کردند. در این سامانه عمق شخم با استفاده از یک سوپاپ سولنوئیدی خاموش/روشن کنترل شد. نتایج کارگاهی نشان داد که سامانه کنترل پایدار، دارای واکنش خوب، اختلاف عمق واقعی و عمق تنظیمی کمتر و در نتیجه برای کنترل عمق شخم مناسب می باشد. همچنین نتایج مزرعه ای نشان داد که عملکرد سامانه کنترل الکترونیکی عمق شخم بهتر از حالت بدون کنترل خودکار می باشد (Lee et al., 2000). در تحقیقی

کنترل کننده های P, PI, PID برای اندازه گیری عمق لایه فشرده گی خاک طراحی و ارزیابی شدند. عملکرد تمامی کنترل کننده ها در آزمایش های مزرعه ای رضایت بخش بود طوری که در موقع استفاده از کنترل کننده PID، عمق کار در محدوده ± 1 سانتی متر از عمق موردنظر کنترل گردید (Anthonis et al., 2004). Saeys et al. (2007) یک سامانه کنترل الکترونیکی عمق تزریق گاز آمونیاک به داخل خاک ارائه کردند که اختلاف بین عمق تزریق واقعی و عمق تزریق موردنظر را کاهش می داد. (Kiani (2012) سامانه کنترل خودکار عمق کاشت کارنده ارائه داد و نتایج ارزیابی نشان داد که عملکرد سامانه در زمین های ناهموار رضایت بخش و قابل قبول است. در حال حاضر تراکتورهای ساخت داخل دارای سامانه کنترل عمق خودکار مکانیکی هستند که از زاویه چرخش محور گردنده هیدرولیک به عنوان متغیر کنترلی استفاده می کنند. زاویه چرخش محور گردنده در سطوح صاف متناسب با فاصله بازوهای پایینی از زمین (ارتفاع) تغییر می کند و عمق شخم (ارتفاع) وسیله را می توان به صورت تابعی از زاویه چرخش محور گردنده محاسبه کرد. ولی در زمین های ناهموار برای مثال زمانی که چرخ های عقب تراکتور داخل گودی می افتند، عمق شخم واقعی کمتر از عمق شخم تنظیم شده می شود. بنابراین سامانه های موجود در زمین های هموار عملکرد خوب و قابل قبولی دارند ولی در زمین های ناهموار به دلیل اندازه گیری ناصحیح عمق توسط حسگر سامانه، عمق شخم غیر یکنواختی

تصویر سمبلیک شیر کنترل جدید در شکل ۱ نشان داده شده است. 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 تدریجی خود ارتباط کانال ها را به صورت تدریجی و تناسبی تغییر می دهد و این عمل باعث می شود که ضمن کنترل جهت جریان، دبی روغن نیز به صورت تناسبی کنترل گردد. شیر کنترل ساخته شده از نوع چرخان و از دو قسمت اصلی بدنه و روتور تشکیل شده است. در این نمونه روتور به وسیله موتور پله ای نسبت به بدنه (سیلندر) شیر چرخانده می شود. زمانی که روتور در وضعیت های مختلف قرار داده می شود، سوراخ های روی بدنه و روتور با همدیگر ارتباط برقرار کرده و حالت های بالاروی، خنثی و پایین روی فراهم می شود و سامانه اتصال سه نقطه مطابق با عملکرد شیر کنترل جابجا می شود (شکل ۲). مجرای اتصال شیر به پمپ (P) کم فشار و مجرای اتصال به جک (J) پرفشار است و فشار تا بیش از ۲۰۰ بار افزایش می یابد. مهم ترین پارامتر در طراحی شیر کنترل، محاسبه ابعاد مجراهای ورودی و خروجی آن است. برای محاسبه اندازه دهانه ها و لوله ها از رابطه زیر استفاده گردید (fallahi dahaki et al., 2010):

$$d_i = 4.607 \sqrt{\frac{Q}{V}} \quad (\text{رابطه ۱})$$

Q: دبی حجمی روغن عبوری از لوله Lit/min، V: سرعت

جریان روغن در لوله d_i , m/s: قطر داخلی لوله (mm).

حداکثر دبی پمپ در سرعت ۶۴۰ دور بر دقیقه محور محرک آن ۱۵/۲ لیتر بر دقیقه می باشد و سرعت جریان روغن هیدرولیک در لوله ها برای خطوط مکش و تخلیه از جدول استاندارد انتخاب گردید (fallahi dahaki et al., 2010). با انتخاب سرعت های ۱ و ۶ متر بر ثانیه به ترتیب برای خط مکش و تخلیه از جدول و دبی بیشینه پمپ، قطر دهانه های ورودی (مکش) و خروجی (تخلیه) به ترتیب ۱۸ و ۷/۴ میلی متر محاسبه شدند. سطح مقطع دهانه های کنترل مکش و تخلیه شیر کنترل پمپ هیدرولیک مورد استفاده در تمامی مدل های تراکتور مسی فرگوسن تولیدی شرکت تراکتورسازی تبریز، به ترتیب ۸۴ و ۴۲ میلی متر مربع (معادل سوراخهایی به ترتیب به قطرهای ۱۰/۵ و ۷/۳ میلی متر) می باشد. روغن بعد از عبور از دهانه کنترل مکش وارد کانال استوانه ای به قطر داخلی ۱۴ میلی متر شده و از آن جا به سیلندرهای پمپ می رسد. قطر داخلی کانال تخلیه نیز ۸ میلی متر می باشد. بدین ترتیب ابعاد محاسبه شده از رابطه (۱) برای خط تخلیه (فشار) با اندازه واقعی آن تقریباً برابر است ولی اندازه محاسبه شده برای خط

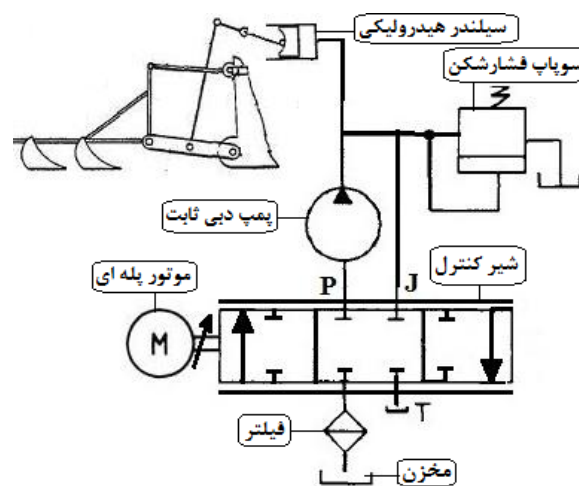
ایجاد می کنند. علاوه بر این به دلیل پایین بودن دقت حسگرهای مکانیکی و وجود تاخیر زمانی در انجام فرامین کنترلی توسط اتصالات مکانیکی، واکنش سامانه های مکانیکی به موقع نبوده و این امر باعث افزایش بار بر روی تراکتور و در نتیجه افزایش درصد لغزش و سوخت مصرفی می شود. بنابراین طراحی و ساخت یک سامانه کنترل عمق الکتروهیدرولیکی با دقت مناسب، ارزان قیمت و سازگار با تکنولوژی تراکتورهای ساخت داخل ضروری می نماید. اهداف این مقاله عبارتند از: (۱) طراحی و ساخت سوپاپ کنترل جهت و جریان تناسبی و تبدیل سامانه کنترل مکانیکی عمق شخم به الکتروهیدرولیکی (۲) تعیین ویژگی ها و مشخصات واکنش سامانه الکتروهیدرولیکی و (۳) مقایسه عملکرد مزرعه ای این سامانه با سامانه مکانیکی موجود در روی همان تراکتور.

مواد و روش ها

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. با بکارگیری شیر کنترل جدید، سامانه کنترل خودکار عمق (ارتفاع) تراکتور از حالت مکانیکی به نوع الکتروهیدرولیکی تغییر داده شد. سامانه الکتروهیدرولیکی شامل دو بخش هیدرولیکی و الکترونیکی می باشد.

بخش هیدرولیکی

سامانه هیدرولیک تراکتور MF 285 شامل یک پمپ پیستونی با جابجایی ثابت، شیر کنترل جهت و جریان در ورودی پمپ که به وسیله موتور پله ای کنترل می شود، سوپاپ فشارشکن (۲۰۰ بار)، سیلندر هیدرولیکی یک طرفه جهت به کار انداختن سامانه اتصال سه نقطه می باشد (شکل ۱).



شکل ۱- مدار هیدرولیکی سامانه کنترل.

بخش الکترونیکی

واحد کنترل کننده از یک کنترل کننده منطقی برنامه پذیر (PLC) و موتور پله ای به همراه درایور^۱ آن تشکیل می شود (شکل ۳). در این تحقیق از یک PLC مدل امرن^۲ به عنوان پردازشگر استفاده شد. PLC شامل یک واحد CPU مدل J14D CP1L- 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. 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. از موتور پله ای برای چرخاندن شیر کنترل استفاده شد. برای محاسبه گشتاور لازم از روی فشار روغن وارده به روتور بایستی ضریب اصطکاک بین سطوح روتور و سیلندر معلوم باشد. ضریب اصطکاک فاکتوری است که معمولاً برای سطوحی که روی هم کشیده می شوند با روش سطح شیبداری به صورت تجربی اندازه گیری می شود. روش دقیق تر استفاده از گشتاور سنج برای اندازه گیری مستقیم گشتاور لازم برای چرخاندن می باشد اما به دلیل در دسترس نبودن گشتاورسنج از دو عدد نیروسنج فنری برای اندازه گیری کوپل نیرو استفاده شد. بعد از نصب شیر کنترل بر روی تراکتور حداکثر کوپل نیروی لازم برای چرخاندن شیر کنترل با استفاده از دو عدد نیروسنج فنری اندازه گیری شد. نیروی لازم برای چرخاندن شیر کنترل از ۵ تا ۶ کیلوگرم در ۱/۵ سانتی متری (گشتاوری معادل ۷/۵ تا ۹ کیلوگرم در سانتی متر) از مرکز روتور اندازه گیری شد. با در نظر گرفتن ضریب اطمینان ۱/۵، گشتاور موتور پله ای بایستی بیشتر از ۱۲ کیلوگرم در سانتی متر باشد. بنابراین از یک موتور پله ای مدل سانپو با گشتاور ۱۳ کیلوگرم در سانتی متر و درایور دو فاز مدل مونز آلمان با ولتاژ تغذیه ۲۴ تا ۴۸ ولتاژ جریان مستقیم جهت کنترل شیر کنترل استفاده گردید. یک صفحه نمایشگر لمسی ساخت شرکت امرن مدل NB5Q-

مکش تفاوت زیادی با مقدار واقعی دارد و این تفاوت ممکن است به دلیل انتخاب نامناسب سرعت جریان باشد. بر این اساس قطر دهانه ورودی شیر کنترل جدید ۱۲ میلی متر و قطر دهانه تخلیه ۸ میلی متر انتخاب گردید. همچنین به منظور افزایش واکنش شیر در برابر فرمان های کنترلی ناشی از تغییرات شرایط برای باز و بسته کردن مجاری کنترل با سرعت مناسب، سعی گردید تا اندازه ممکن زاویه چرخش روتور شیر کمتر از ۹۰ درجه باشد. بر این اساس قطر خارجی روتور ۳۰ میلی متر در نظر گرفته شد تا هم بتوان سوراخ ۱۲ میلی متری را روی آن ایجاد و هم اینکه ابعاد شیر خیلی بزرگ نشود. سیلندر به شکل استوانه ای با قطر بیرونی ۶۰ میلی متر انتخاب گردید تا علاوه بر دارا بودن استحکام کافی در مقابل فشار ۲۰۰ بار، بتوان روی آن سوراخ های رزوه دار با عمق مناسب جهت بستن اتصالات و شیلنگ ها ایجاد کرد. برای ساخت شیر از فولاد CK45 استفاده گردید که بعد از پیاده سازی طرح مورد نظر، ۳۵ راکول آبکاری و سخت کاری شد تا در برابر سایش مقاوم گردد. بعد از آبکاری به منظور ایجاد صافی سطح مناسب که بتواند در فشار بالا از نشست روغن جلوگیری کند، عملیات سنگ زنی و پرداخت کاری با دقت میکرون انجام شد. برای اتصال شیر کنترل به پمپ هیدرولیک از سوراخ های موجود در روی محفظه پمپ و از شیلنگ ها و اتصالات استاندارد شرکت تراکتورسازی استفاده گردید.

ابتدا شیر کنترل ساخته شده در فشارهای کاری بالا در کارگاه تست گردید و عملکرد آن رضایت بخش بود. همچنین شیر کنترل در کنترل جهت و دبی روغن ورودی به پمپ از دقت کافی برخوردار بود. شیر کنترل به صورت موازی با شیر کنترل موجود در روی پمپ هیدرولیک تراکتور سوار گردید 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 الکترونیکی، شیر کنترل موجود در روی پمپ هیدرولیک تراکتور در حالت خنثی قرار داده شد و برعکس.



شکل ۲- شیر کنترل و موتور پله ای نصب شده بر روی تراکتور

1. Driver
2. Omron

نشان داده شده است. ابتدا عمق شخم موردنظر و ناحیه مرگ در صفحه نمایشگر تنظیم می شوند. سیگنال حسگر عمق شخم به وسیله ی PLC دریافت و عمق شخم واقعی در فواصل زمانی منظم و مشخص محاسبه می شود. سیگنال خطا به صورت اختلاف بین عمق شخم واقعی و تنظیمی محاسبه و با مقدار ناحیه مرگ مقایسه می شود. اگر سیگنال خطا در محدوده ناحیه مرگ باشد، موتورپله ای عمل نمی کند. در صورتی که سیگنال خطا بزرگتر از حد بالایی یا کوچکتر از حد پایینی ناحیه مرگ باشد، تعداد پالس موردنیاز جهت چرخش موتور پله ای محاسبه و توسط واحد خروجی دیجیتال به درایور موتور پله ای ارسال می شود. موتور پله ای نیز مطابق با سیگنال فرمان، شیر کنترل را در جهت عقربه‌های ساعت یا عکس آن می چرخاند. با قرار گرفتن شیر کنترل در وضعیت های بالاروی یا پایین روی، بازوهای اتصال سه نقطه به طرف بالا یا پایین جابجا شده و از این طریق عمق شخم کنترل می شود.

روش آزمایش

به منظور ارزیابی عملکرد سامانه الکتروهیدرولیکی، آزمایش های کارگاهی و مزرعه ای انجام شدند. آزمایش های کارگاهی به منظور بررسی و تعیین مشخصات عملکرد سامانه کنترل الکتروهیدرولیکی انجام شد. 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 پله‌ای) مشخص شدند. سپس آزمایش های پاسخ گذرای سامانه جهت مشخص شدن زمان صعود، زمان تاخیر و زمان نشست در کارگاه انجام شدند. در حین انجام آزمایش های کارگاهی مقادیر موردنظر از طریق نمایشگر لمسی تنظیم شدند و تمامی سیگنال‌ها در حافظه PLC ذخیره شدند.

آزمایش های 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 تقریباً 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 (سرعت ۱۲۰ دور بر دقیقه برای موتور پله ای) انتخاب شد. زاویه چرخش شیر کنترل برای باز شدن کامل دریچه ورودی از ۰ تا ۶۲ درجه از وضعیت خنثی می‌باشد (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 نمایش مقادیر اندازه گیری شده و وارد کردن مقادیر تنظیمی عمق شخم و ناحیه مرگ^۱ به کار برده شد (شکل ۳).



شکل ۳- اجزای واحد کنترل کننده سامانه الکتروهیدرولیکی.

از یک پتانسیومتر چرخان ($10\text{ k}\Omega$) که بر روی محور گردنده هیدرولیک نصب شد، برای اندازه گیری زاویه بازوهای بالابر و موقعیت سامانه اتصال سه نقطه به عنوان عمق شخم استفاده گردید. علاوه بر این از یک چرخ پنجم، شناور در جهت عمودی، برای اندازه گیری عمق شخم استفاده گردید. مکانیزم چرخ پنجم طوری بر روی شاسی گاواهن برگردان دار نصب گردید که بتواند در پشت چرخ عقب سمت چپ تراکتور حرکت کند. همچنین امکان چرخش چرخ در جهت عمودی و در نتیجه جابجایی چرخ در جهت عمودی وجود داشت و از یک فنر بر روی بازوی چرخ برای جلوگیری از لرزش چرخ و فشردن آن بر روی زمین استفاده گردید. لاستیک چرخ از نوع بادی با شعاع غلتش ۰/۲۷ متر بود. یک پتانسیومتر چرخان ($10\text{ k}\Omega$) جهت اندازه گیری زاویه بازوی چرخ بر روی انتهای بازوی چرخ نصب گردید (شکل ۴).



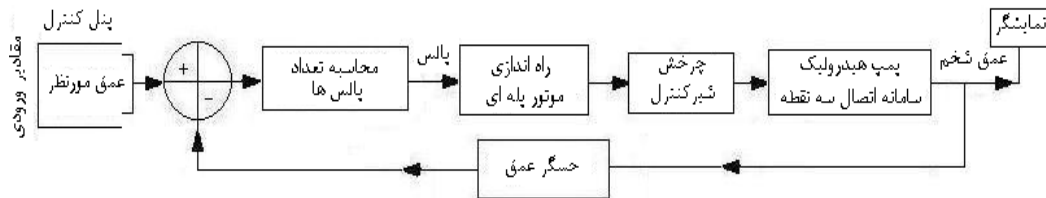
شکل ۴- مکانیزم حسگر عمق کار چرخ پنجم.

روش کنترل

نمودار روندنمای سامانه کنترل الکتروهیدرولیکی در شکل ۵

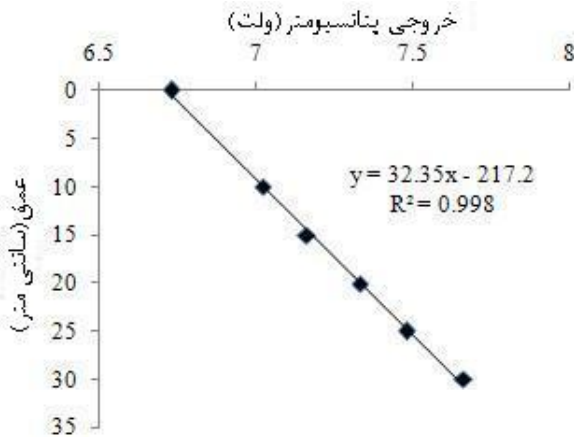
کنترل در عملیات خاک ورزی بسیار مناسب است. زاویه چرخش روتور شیر کنترل متناسب با سیگنال خطا تغییر داده می شود.

برای سیگنال فرمان (۴۰۰ هرتز)، زمان لازم برای ارسال ۳۵ عدد پالس به موتور پله ای جهت باز شدن کامل دریچه ورودی شیر کنترل، کمتر از ۰/۱ ثانیه می باشد. بنابراین سرعت پاسخ سامانه الکتروهیدرولیکی جهت کنترل موتور پله ای و شیر



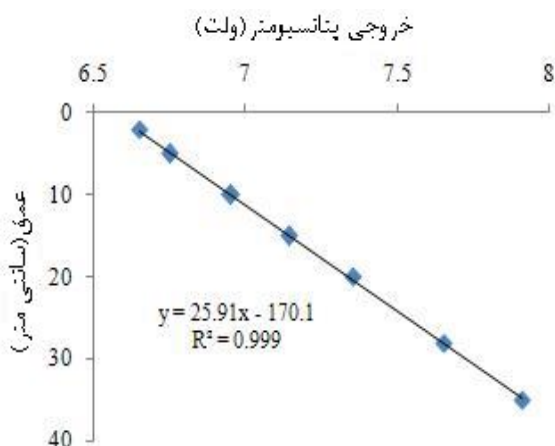
شکل ۵- نمودار روندنمای سامانه کنترل الکتروهیدرولیکی.

واسنجی شد. نتایج واسنجی کارگاهی نشان داد که رابطه خطی با ضریب تبیین بالا بین ولتاژ خروجی پتانسیومتر و مقادیر اندازه گیری شده وجود دارد (شکل ۶).



شکل ۶- واسنجی پتانسیومتر محور گردنده هیدرولیک.

همچنین ولتاژ خروجی پتانسیومتر نصب شده بر روی چرخ پنجم برای موقعیت های (ارتفاع) معلوم چرخ از سطح زمین واسنجی شد. نتایج واسنجی کارگاهی نشان داد که رابطه خطی با ضریب تبیین بالا بین ولتاژ خروجی پتانسیومتر و مقادیر اندازه گیری شده وجود دارد (شکل ۷).



شکل ۷- واسنجی پتانسیومتر چرخ پنجم.

آزمایش های مزرعه ای در مزرعه ی دانشگاه تبریز با بافت خاک شنی لومی و رطوبت ۱۵ درصد انجام شد. برای اندازه گیری درصد رطوبت خاک چندین نمونه از نقاط مختلف مزرعه آزمایشی برداشت شد. نمونه ها بلافاصله به آزمایشگاه منتقل و به وسیله ترازو توزین شدند و جرم هر نمونه ثبت شد. سپس نمونه ها در یک آون در دمای ۱۰۵ درجه به مدت ۲۴ ساعت قرار داده شدند. درصد محتوای رطوبتی خاک بر اساس وزن خشک نمونه ها از رابطه زیر محاسبه شد.

$$MC(\%) = \frac{W_{wet} - W_{dry}}{W_{dry}} \quad (\text{رابطه ۲})$$

W_{wet} : وزن نمونه خاک مرطوب (g), W_{dry} : وزن نمونه خاک خشک (g), MC : درصد رطوبت

یک دستگاه تراکتور MF285 مجهز به سامانه کنترل الکتروهیدرولیکی و یک دستگاه گاواهن برگرداندار دو خیش سوار برای انجام آزمایش های مزرعه ای به صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح بلوک کامل تصادفی و با سه تکرار استفاده شدند. فاکتورها شامل دو نوع سامانه کنترل (الکتروهیدرولیکی و مکانیکی)، دو سطح سرعت پیشروی (۲/۵ و ۱=۳/۶ کیلومتر در ساعت) و دو سطح عمق شخم تنظیمی (۱۰=d1 و ۲۰=d2) بودند. به منظور تعیین عمق شخم های تنظیمی برای سامانه مکانیکی، تراکتور به همراه گاواهن متصل به آن در بالای سکویی نگه داشته شد طوری که بتوان گاواهن را تا آخر پایین برد. سپس گاواهن توسط اهرم کنترل عمق (وضعیت) تا عمق های ۱۰ و ۲۰ سانتی متری پایین برده شد و موقعیت اهرم کنترل در روی کوادرنانت با استفاده از گچ علامت گذاری شد (AL-Janobi, 2000).

نتایج و بحث

واسنجی حسگرهای عمق شخم

ولتاژ خروجی پتانسیومتر محور گردنده هیدرولیک برای چندین موقعیت (ارتفاع) معلوم انتهای بازوهای پایینی از سطح زمین

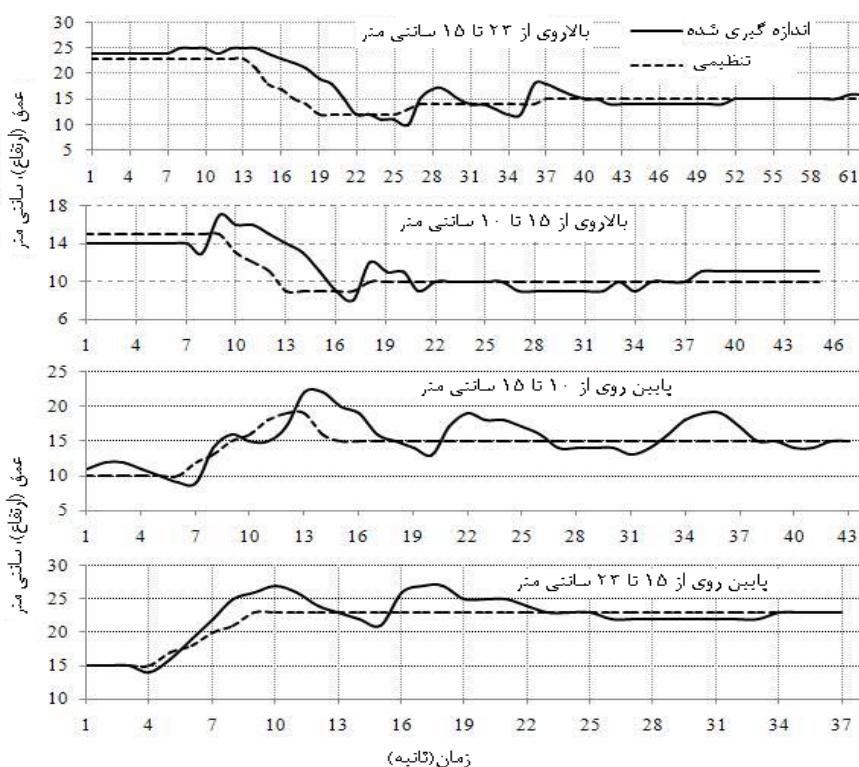
آزمایش پاسخ گذرا

پاسخ گذرای سامانه کنترل الکترو هیدرولیکی در مقابل تغییرات عمق (ارتفاع) از ۱۰ تا ۲۳ سانتی متر در سه پله ۱۰، ۱۵ و ۲۳ سانتی متر با ناحیه مرگ چهار سانتی متر و فاصله زمانی داده برداری ۰/۳ ثانیه در فرآیند بالاروی و پایین روی در شکل ۸ نشان داده شده است. در تمامی آزمایش ها دور موتور تراکتور روی دور مشخصه ۲۰۰۰ دور در دقیقه تنظیم شد. نتایج نشان می دهد که سامانه در حالت بالاروی پایدار و مدت زمان لازم برای رسیدن به حالت پایداری تقریباً ۰/۹ ثانیه و زمان تاخیر آن کمتر از ۰/۵ ثانیه می باشد. همانطور که از شکل ۸ پیداست، سامانه کنترل به خوبی تغییرات مقادیر تنظیمی را دنبال کرده و تغییرات عمق (ارتفاع) را در محدوده ± 2 سانتی متر (ناحیه مرگ ۴ سانتی متر) در حالت پایداری نگه داشته است و اختلاف بین مقادیر تنظیمی و اندازه گیری شده خیلی کم است. این نتایج با نتایج دیگران مشابهت دارد (Lee et al., 1998).

زمان تاخیر در فرآیند بالاروی به دلیل تاخیر در عملکرد بخش هیدرولیکی سامانه می باشد و به موارد زیر مربوط می شود: (۱) حداکثر سرعت بالاروی سامانه هیدرولیک تراکتور تقریباً ۱۵ سانتی متر در ثانیه می باشد و باعث ایجاد ۰/۳۳ ثانیه تاخیر زمانی در عملکرد سامانه می شود. (۲) به دلیل عدم امکان دستکاری بیشتر تراکتور در این مرحله از پژوهش، شیر کنترل ساخته شده از قسمت بیرونی محفظه پمپ هیدرولیک بر روی

تراکتور سوار گردید و این کار باعث شد که طول لوله مابین شیر کنترل و پمپ هیدرولیک مقداری طولی تر شود (۱۵ سانتی متر). این امر باعث به وجود آمدن تاخیر زمانی می شود. البته لازم به ذکر است که این مشکل قابل رفع می باشد.

در حالت پایین روی (تخلیه)، وسیله فقط در اثر وزن خود پایین می رود و وزن وسیله در سرعت پایین روی تاثیر دارد. به همین دلیل در هیچ کدام از حالت های پایین روی، تاخیر زمانی وجود ندارد بلکه مقداری جهش در عملکرد سامانه مشاهده می شود (شکل ۸). جهش سامانه در حالت پایین روی را می توان این گونه بیان کرد که در زمان اجرای فرمان پایین روی، موتور پله ای قادر نبود شیر کنترل را به راحتی به صورت پله به پله (حالت کاری مستقل) بچرخاند، بنابراین ناچاراً موتور پله ای در حالت کاری پیوسته به کار گرفته شد. این کار باعث می شد تا مجرای تخلیه شیر کنترل بیش از حد مورد نظر برای خطاهای کوچک باز شود و تا بسته شدن دوباره آن توسط موتور پله ای، عمق وسیله اندکی بیشتر از عمق شخم تنظیمی پایین تر می رفت و دوباره جبران می شد. البته این مشکل به دلیل سنگین بودن گاوآهن متصل به تراکتور که در آزمایش های کارگاهی در فضا نگه داشته می شد، اتفاق افتاد و در آزمایش های مزرعه ای این مشکل پیش نمی آید، چون گاوآهن روی زمین کشیده می شود.



شکل ۸- نتایج آزمایش های پاسخ گذرای سامانه کنترل الکترو هیدرولیکی در کارگاه.

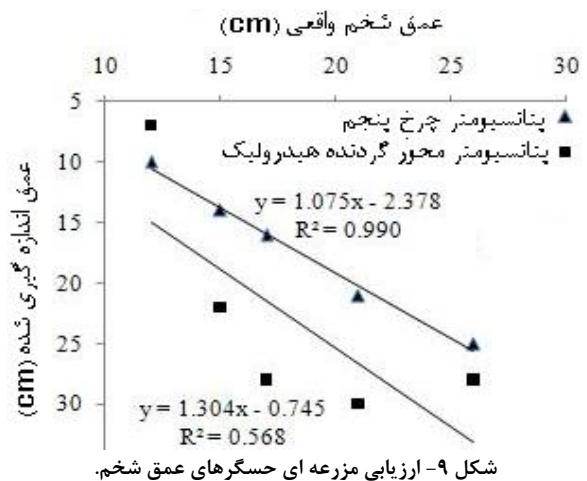
سامانه کنترل الکترونیکی از نفوذ گاواهن به عمق های بیش از عمق شخم تنظیمی جلوگیری کرده و تغییرات عمق در محدوده مجاز ناحیه مرگ نگه داشته شده است (شکل ۱۰). البته در اکثر مواقع، عمق شخم واقعی کمتر از عمق شخم مورد نظر بوده است. این پدیده ممکن است به شرایط خاک مربوط باشد که باعث می شود علی رغم صدور فرمان پایین روی توسط سامانه کنترل الکترونیکی گاواهن نتواند به راحتی در خاک نفوذ کند. با توجه به اینکه سیلندر هیدرولیکی سامانه اتصال سه نقطه از نوع یک طرفه می باشد، در حالت بالا روی با فشار روغن و در هنگام پایین روی با وزن وسیله عمل می کند، نفوذ گاواهن به عمق مورد نظر علاوه بر فرمان پایین روی به شرایط خاک از قبیل رطوبت و فشردگی خاک نیز بستگی دارد. بنابراین می توان گفت که وظیفه اصلی سامانه کنترل عمق شخم، جلوگیری از نفوذ گاواهن به عمق بیش از عمق مورد نظر می باشد و عملکرد سامانه الکترونیکی در این مورد رضایت بخش بوده است. انحراف معیار سامانه الکترونیکی در سرعت پیشروی ۲/۵ کیلومتر در ساعت و در عمق های تنظیمی ۱۰ و ۲۰ سانتی متر به ترتیب ۲/۴۱ و ۳/۲ سانتی متر بودند در حالیکه این مقادیر برای سامانه مکانیکی ۳/۴۵ و ۵/۹۲ بودند. خطای میانگین عمق شخم واقعی از عمق شخم تنظیمی در سرعت پیشروی ۲/۵ کیلومتر در ساعت و عمق های تنظیمی ۱۰ و ۲۰ سانتی متر به ترتیب ۱/۶ و ۱/۵ سانتی متر بدست آمدند، در حالیکه این مقادیر برای سامانه مکانیکی به ترتیب ۳ و ۵/۲ سانتی متر بودند. نتایج مشابهی در سرعت پیشروی ۳/۶ کیلومتر در ساعت برای سامانه ها حاصل شد. این نتایج نشان می دهد که عملکرد سامانه الکترونیکی در کنترل عمق شخم بهتر از سامانه مکانیکی بوده است. این نتایج با نتایج به دست آمده توسط (Lee et al., 2000) همخوانی دارد.

عملکرد سامانه های کنترل عمق کار

نتایج تجزیه واریانس بر روی میانگین های عمق شخم هر آزمایش نشان داد که نوع سامانه و مقادیر تنظیمی عمق شخم تاثیر معنی داری در سطح احتمال ۱٪ بر روی عمق شخم دارند (RMSE=1 cm). مقایسه میانگین های عمق شخم سامانه ها در شکل ۱۱ نشان می دهد که بین مقادیر عمق شخم دو سامانه مکانیکی و الکترونیکی اختلاف معنی دار وجود دارد. معنی دار بودن اختلاف میانگین های عمق شخم دو سامانه بیانگر این است که سامانه الکترونیکی نسبت به سامانه مکانیکی برتری دارد و این برتری در تمامی تیمارها روال مشابهی داشته است. همچنین تاثیر سرعت پیشروی و ترکیبات تیمارها بر روی عمق شخم معنی دار نبوده است.

اعتبارسنجی حسگرهای عمق شخم

در شرایط کارگاهی بین ولتاژ خروجی پتانسیومترها و عمق شخم رابطه خطی با ضریب تبیین بالا وجود داشت. به منظور اطمینان از صحت کارکرد حسگر های اندازه گیری عمق شخم، هر دو پتانسیومتر در شرایط مزرعه ای نیز کالیبره و ارزیابی شدند. بعد از کالیبره کردن حسگر ها در مزرعه و اعمال ضرایب تصحیح در نرم افزار، اندازه گیری عمق شخم توسط هر دو حسگر و همچنین با استفاده از متر (با دقت سانتی متر) برای پنج عمق مختلف در طول مسیر شخم انجام شد و این کار چندین بار تکرار گردید. نتایج نشان داد که پتانسیومتر نصب شده بر روی محور گردنده هیدرولیک دقت کافی برای اندازه گیری عمق شخم ندارد و قابل اطمینان نیست (شکل ۹).



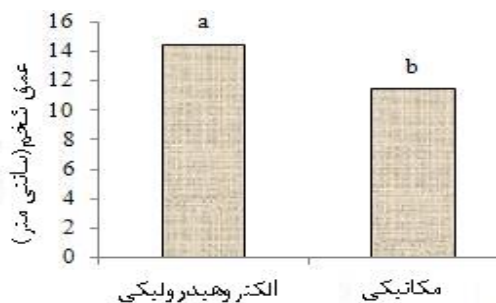
شکل ۹- ارزیابی مزرعه ای حسگرهای عمق شخم.

این مشکل از آن جا ناشی می شود که چرخ های عقب تراکتور و انتهای بازوهای پایینی با همدیگر فاصله دارند و زمانی که چرخ های تراکتور در داخل شیار (گودی) می افتند، عمق شخم واقعی با عمق شخم اندازه گیری شده توسط پتانسیومتر محور گردنده (و حتی مکانیزم اندازه گیری عمق در سامانه مکانیکی کنترل موقعیت) یکسان نمی باشد یا همخوانی ندارد. به همین دلیل و به خاطر دقت بالای حسگر عمق شخم چرخ پنجم، در آزمایش های مزرعه ای فقط خروجی حسگر عمق چرخ پنجم اندازه گیری و در فرآیند کنترل عمق شخم در نظر گرفته شد.

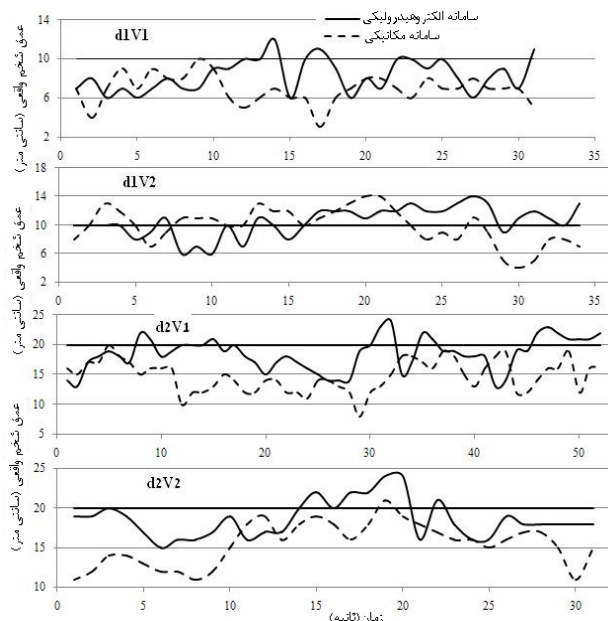
واکنش سامانه ها در مقابل تغییرات عمق شخم

واکنش سامانه ها برای چهار مسیر مختلف شخم در سرعت های پیشروی ۲/۵ و ۳/۶ کیلومتر در ساعت، فواصل زمانی داده برداری یک ثانیه، عمق شخم های تنظیمی ۱۰ و ۲۰ سانتی متر و با ناحیه مرگ چهار سانتی متر (۲± سانتی متر) در شکل ۱۰ نشان داده شده است.

حداکثر اختلاف میانگین عمق شخم واقعی از عمق شخم تنظیمی برای سامانه الکتروهیدرولیکی ۲ سانتی متر و در عمق تنظیمی ۲۰ سانتی متر بود، در حالیکه این مقدار برای سامانه مکانیکی ۵ سانتی متر بود. همچنین حداکثر اختلاف بین عمق شخم سامانه ها ۳/۷ سانتی متر و در سرعت پیشروی ۳/۶ کیلومتر در ساعت و عمق شخم تنظیمی ۲۰ سانتی متر اتفاق افتاد. این نتایج نشان می دهد که عمق شخم در موقع بکارگیری سامانه الکتروهیدرولیکی در مقایسه با سامانه مکانیکی، نزدیکتر به عمق شخم تنظیمی کنترل شده است و این نتیجه با نتایج دیگران مطابقت دارد (Lee et al., 2000; Anthonis et al., 2004).



شکل ۱۱- مقایسه میانگین عمق شخم سامانه.



شکل ۱۰- واکنش سامانه ها در مقابل تغییرات عمق شخم.

مقادیر میانگین، انحراف معیار و ضریب تغییرات عمق شخم ها برای دو سامانه در جدول ۱ نشان داده شده است. جدول ۱ نشان می دهد که در اکثر تیمارها میانگین عمق شخم در سامانه الکتروهیدرولیکی بیشتر از سامانه مکانیکی و انحراف معیار و ضریب تغییرات کمتر از سامانه مکانیکی بوده است.

جدول ۱. عملکرد سامانه های کنترل عمق شخم

عمق تنظیمی، cm	سرعت پیشروی، km/h	الکتروهیدرولیکی			مکانیکی		
		میانگین، cm	انحراف معیار	CV, %	میانگین، cm	انحراف معیار	CV, %
d1=۱۰	۲/۵	۱۰	۲/۹	۲۹/۵	۷	۳/۶	۲۶/۱
	۳/۶	۱۱	۲/۳	۲۲/۹	۷/۹	۳/۴	۳۴/۲
d2=۲۰	۲/۵	۱۸	۴	۲۰	۱۵/۳	۵/۵	۲۷/۵
	۳/۶	۱۸/۷	۲/۴	۱۲/۴	۱۵	۵/۷	۲۸/۶

RMSE= 0.98

سه تکرار انجام شد. نتایج مزرعه‌ای نشان داد که در اکثر تیمارها مقادیر انحراف معیار و ضریب تغییرات عمق شخم در سامانه الکتروهیدرولیکی در مقایسه با سامانه مکانیکی کمتر بودند. بنابراین می توان گفت که سامانه الکتروهیدرولیکی در مقایسه با سامانه مکانیکی در کنترل عمق شخم عملکرد بهتری داشته است.

سپاسگزاری

این مقاله از طرح تحقیقاتی که با بودجه پژوهشی و حمایت مالی دانشگاه آزاد اسلامی واحد تبریز به انجام رسیده است، استخراج شده است.

نتیجه‌گیری کلی

سامانه کنترل الکتروهیدرولیکی عمق شخم با بکارگیری شیر کنترل جهت و جریان تناسبی با طرح جدید، طراحی و ساخته شد و در شرایط کارگاهی و مزرعه ای ارزیابی گردید. نتایج آزمایش‌های پاسخ گذرا نشان داد که سامانه کنترل الکتروهیدرولیکی، پایدار، دارای واکنش مناسب و اختلاف بین عمق شخم و عمق تنظیمی در حالت پایداری کم می‌باشد. آزمایش‌های مزرعه ای برای دو سامانه الکتروهیدرولیکی و مکانیکی در دو سطح سرعت پیشروی (۲/۵ و ۳/۶ کیلومتر در ساعت) و دو سطح عمق شخم تنظیمی (۱۰ و ۲۰ سانتی متر) بصورت آزمایش فاکتوریل و در قالب طرح بلوک کامل تصادفی با

REFERENCES

- Al-Janobi, A. 2000. A Data-acquisition System to Monitor Performance of Full Mounted Implements. *Journal of agricultural engineering research*, 75, 167-175.
- Anthonis, J., Mouazen, A. M., Saeys, W. & Ramon, H. 2004. An automatic depth control system for online measurement of spatial variation in soil compaction, part 3: design of depth control system. *Biosystems Engineering*, 89(1), 59-67.
- Ayers, P.D., Varma, K.V. & Karim, M.N. 1989. Design and analysis of electro-hydraulic draft control system. *Transaction of ASAE*, 32(6), 1853-1855.
- Chancellor, W. & Zhang, N. 1989. Automatic wheel-slip control for tractors. *Transaction of ASAE*, 32(1), 17-22.
- Fallahi dahaki, H ., Hamedi, H. & Keshavarz bahagigat, A. (2010) *Applicable Reference Of Hydraulic and Pneumatic Comprehensive Guide to Automation Studio*. Tehran. Soha danesh.(In Farsi)
- Ismail, S.M., Singh, G. & Gee-Clough, D. 1981. A preliminary investigation of a combined slip and draught control for tractors. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 26(1), 293-306.
- Kiani, S. 2012. Automatic on-line depth control of seeding units using a non-contacting ultrasonic sensor. *International Journal of Natural and Engineering sciences*, 6(2), 39-42.
- 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.
- Lee, J., Yamazaki, M., Oida, A., Nakashima, H. & Shimizu, H. 2000. Field performance of proposed foresight tillage depth control system for rotary implements mounted on an agricultural tractor. *Journal of Terramechanics*, 37(2), 99-111.
- Pranava, 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.
- Saeys, W., Engelen, K., Ramon, H. & Anthonis, J. 2007. An automatic depth control system for shallow manure injection, Part 1: Modeling of the depth control system. *Biosystems Engineering*, 98(2), 146-154.
- 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.