



سامانه کنترل عمق شخم الکتروهیدرولیکی برای ادوات خاک ورزی

نوروز مراداصغرلو^{۱*}

۱- دانشگاه آزاد اسلامی واحد تبریز، گروه مکانیک بیوسیستم، تبریز، ایران

ایمیل مکاتبه کننده: n.morad@iaut.ac.ir

چکیده

یک سامانه کنترل عمق شخم الکتروهیدرولیکی خودکار به منظور کاهش اختلاف بین عمق شخم واقعی و عمق شخم مورد نظر طراحی و ساخته شد. این سامانه دارای حسگر عمق شخم، کنترل کننده منطقی برنامه پذیر، موتور پله ای و درایور آن، شیر کنترل و یک صفحه نمایشگر برنامه پذیر می باشد. در این سامانه عمق شخم با استفاده از یک حسگر عمق شخم که شامل چرخ پنجم و پتانسیومتر می باشد، اندازه گیری شد. یک عدد شیر کنترل از نوع چرخان که با موتور پله ای کنترل می شود، برای کنترل سامانه اتصال سه نقطه و عمق شخم استفاده گردید. برای انجام آزمایش های کارگاهی و مزرعه ای از یک دستگاه تراکتور مسی فرگوسن دو چرخ محرک مدل ۲۸۵ مجهز به سامانه کنترل الکتروهیدرولیکی و یک دستگاه گاواهن برگردان دار دو خیش سوار استفاده گردید. نتایج آزمایش های کارگاهی نشان داد که سامانه کنترل الکتروهیدرولیکی در حالت پایداری، تغییرات عمق (ارتفاع) را به خوبی در محدوده ± 2 سانتی متر کنترل کرد. نتایج مزرعه ای نیز نشان داد که میانگین عمق شخم در سامانه الکتروهیدرولیکی با اختلاف معنی داری بیشتر از عمق شخم در سامانه مکانیکی بود.

واژه‌های کلیدی: الکتروهیدرولیکی، 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 مورد نظر 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 یاتربیی از این ها به عنوان متغیرکنترلی استفاده شده است (Ismail et al., 1998; Lee et al., 1998; al., 1981; Chancellor and zhang, 1989; Ayers et al., 1989; Pranava et al., 2012). عمق الکتروهیدرولیکی 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 فشردگی 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 مورد نظر 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 مورد نظر 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 ایجاد می کنند. علاوه بر این به دلیل پایین بودن دقت حسگر های 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 الکترونیکی با دقت مناسب، ارزان قیمت و سازگار با تکنولوژی تراکتورهای ساخت داخل ضروری می نماید. اهداف این مقاله عبارتند از: ۱) طراحی و ساخت سامانه کنترل الکترونیکی عمق شخم با بکارگیری سوپاپ کنترل جهت و جریان تناسبی جدید (ساخته شده) ۲) تعیین ویژگی ها و مشخصات واکنش سامانه کنترل و ۳) مقایسه عملکرد مزرعه ای این سامانه با سامانه مکانیکی موجود در روی همان تراکتور.

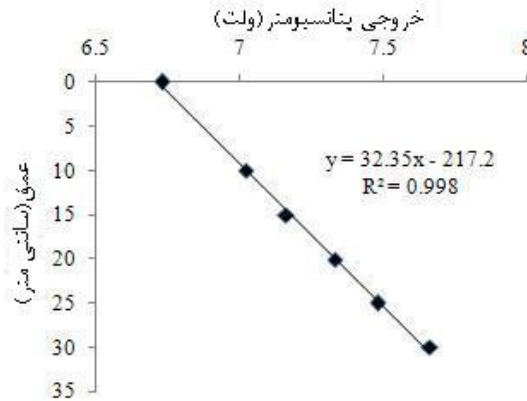
مواد و روش‌ها

۱-۲- شرح سامانه

یک سامانه کنترل الکترونیکی عمق شخم، با بکارگیری سوپاپ کنترل جهت و جریان تناسبی با قابلیت کنترل توسط موتور پله ای، طراحی و بر روی تراکتور مسی فرگوسن مدل ۲۸۵ نصب گردید. این سامانه شامل حسگرها، واحد کنترل کننده، نمایشگر و مدار هیدرولیکی می باشد. از یک عدد پتانسیومتر چرخان ($10\text{ k}\Omega$) که بر روی محور گردنده هیدرولیک نصب گردید، برای اندازه گیری زاویه بازوهای بالابر و موقعیت سامانه اتصال سه نقطه به عنوان عمق شخم استفاده گردید. ولتاژ خروجی پتانسیومتر برای چندین موقعیت (ارتفاع) معلوم انتهای بازوهای پایینی از



سطح زمین کالیبره شد. نتایج کالیبراسیون کارگاهی نشان داد که رابطه خطی با ضریب تبیین بالا بین ولتاژ خروجی پتانسیومتر و مقادیر اندازه گیری شده وجود دارد (شکل ۱).



شکل ۱- کالیبراسیون پتانسیومتر محور گردنده هیدرولیک.

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 عدد 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 عدد پتانسیومتر چرخان ($10\text{ k}\Omega$) جهت اندازه گیری زاویه بازوی چرخ بر روی انتهای بازوی چرخ نصب گردید (شکل ۲).

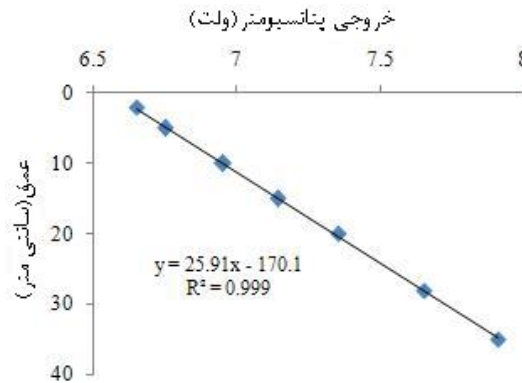


شکل ۲- مکانیزم حسگر عمق کار چرخ پنجم.

ولتاژ خروجی پتانسیومتر برای موقعیت های (ارتفاع) معلوم چرخ از سطح زمین کالیبره شد. نتایج کالیبراسیون کارگاهی نشان داد که رابطه خطی با ضریب تبیین بالا بین ولتاژ خروجی پتانسیومتر و مقادیر اندازه گیری شده وجود دارد (شکل ۳).



(مکانیک بیوسیستم) و مکانیزاسیون
پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران
۲ و ۳ اردیبهشت ۱۳۹۴ - کرج

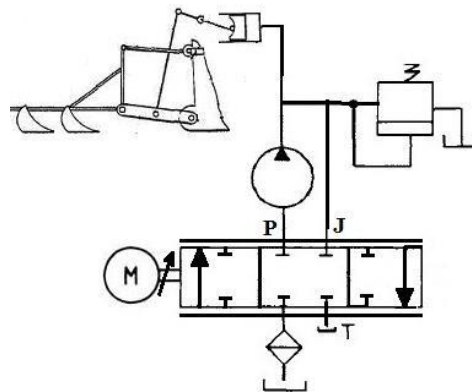


شکل ۳- کالیبراسیون پتانسیومتر چرخ پنجم.

واحد کنترل کننده از یک کنترل کننده منطقی برنامه پذیر (PLC) و موتور پله ای به همراه دریاور آن تشکیل می شود (شکل ۴). 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 CPIW-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 یک موتور پله ای مدل سانپو با گشتاور ۱۳ کیلوگرم در سانتی متر و دریاور دو فاز مدل موزر آلمان با ولتاژ تغذیه ۲۴ تا ۴۸ ولتاژ جریان مستقیم جهت کنترل شیر کنترل استفاده گردید (شکل ۴). یک صفحه نمایشگر لمسی ساخت شرکت امرن مدل NB5Q- TW00B برای نمایش مقادیر اندازه گیری شده و وارد کردن مقادیر تنظیمی عمق شخم و ناحیه مرگ به کار برده شد (شکل ۴). بخش هیدرولیکی این سامانه شامل یک سیلندر هیدرولیکی یک طرفه جهت به کار انداختن سامانه اتصال سه نقطه که وسیله به آن متصل می شود و مدار هیدرولیکی با سوپاپ کنترل جهت و جریان تناسبی ساخته شده که قابلیت کنترل توسط موتور پله ای دارد، می باشد (شکل ۵).



شکل ۴- اجزای واحد کنترل کننده سامانه الکترو هیدرولیکی.



شکل ۵- مدار هیدرولیکی سامانه کنترل.

شیر کنترل ساخته شده از نوع چرخان و از دو قسمت اصلی بدنه و روتور تشکیل شده است. در این نمونه روتور توسط موتور پله ای نسبت به بدنه (سیلندر) سوپاپ 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. ابتدا شیر کنترل ساخته شده در فشارهای کاری بالا در کارگاه تست شد و عملکرد آن رضایت بخش بود. همچنین این سوپاپ 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 ۶). در موقع استفاده از سامانه کنترل الکترو هیدرولیکی، شیر کنترل موجود در روی پمپ هیدرولیک تراکتور در حالت خنثی قرار داده شد و برعکس.



شکل ۶- شیر کنترل و موتور پله ای نصب شده بر روی تراکتور.

۲-۲- روش کنترل

دیاگرام بلوکی سامانه کنترل الکترو هیدرولیکی در شکل ۷ نشان داده شده است. ابتدا عمق شخم مورد نظر و ناحیه مرگ در صفحه نمایشگر تنظیم می شوند. سیگنال حسگر عمق شخم توسط 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، موتور پله ای عمل



نمی‌کند. 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 می‌شود. موتور پله ای نیز مطابق با سیگنال فرمان، شیر کنترل را در جهت عقربه‌های ساعت یا عکس آن می‌چرخاند. با قرار گرفتن شیر کنترل در وضعیت‌های بالاروی یا پایین روی، بازوهای اتصال سه نقطه به طرف بالا یا پایین جابجا شده و از این طریق عمق شخم کنترل می‌شود.



شکل ۷- دیاگرام بلوکی سامانه کنترل الکترو هیدرولیکی.

۲-۳- روش آزمایش

به منظور ارزیابی عملکرد سامانه الکترو هیدرولیکی، آزمایش‌های کارگاهی و مزرعه‌ای انجام شدند. آزمایش‌های کارگاهی به منظور بررسی و تعیین مشخصات عملکرد سامانه کنترل الکترو هیدرولیکی انجام شد. در گام اول با انجام آزمایش‌هایی سرعت بالاروی بازوهای اتصال سه نقطه، ارتباط بین تعداد پالس‌ها و میزان جابجایی بازوها و فرکانس سیگنال فرمان (سرعت موتور پله ای) مشخص شدند. سپس آزمایش‌های پاسخ گذرای سامانه جهت مشخص شدن زمان صعود، زمان تاخیر و زمان نشست در کارگاه انجام شدند. در حین انجام آزمایش‌های کارگاهی مقادیر موردنظر 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 تقریباً ۱۵ سانتی متر در ثانیه). حداکثر سرعتی که در آن موتور پله ای قادر بود به راحتی شیر کنترل را بچرخاند، ۱۵۰ دور در دقیقه تعیین گردید. بنابراین فرکانس سیگنال فرمان برای سامانه کنترل، ۴۰۰ هرتز (سرعت ۱۲۰ دور در 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 می‌باشد (۱۵ پالس). با توجه به فرکانس انتخاب شده 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 می‌باشد. بنابراین سرعت پاسخ سامانه الکترو هیدرولیکی جهت کنترل موتور پله ای و شیر کنترل در عملیات خاک ورزی بسیار مناسب است. زاویه چرخش روتور شیر کنترل متناسب با سیگنال خطا تغییر داده می‌شود.

شیر کنترل به صورت موازی با شیر کنترل موجود در روی پمپ هیدرولیک به کار برده شد و با توجه به اینکه امکان دستکاری تراکتور در این مرحله از پژوهش وجود نداشت، به همین دلیل شیر کنترل ساخته شده از قسمت بیرونی



محفظه پمپ هیدرولیک بر روی تراکتور نصب شد. بنابراین طول لوله مابین شیر کنترل و پمپ هیدرولیک تراکتور کمی طولی‌تر شد (۱۵ سانتی‌متر) و این کار باعث ایجاد تاخیر در پاسخ سامانه هیدرولیک تراکتور گردید.

آزمایش‌های مزرعه‌ای در مزرعه‌ی دانشگاه تبریز با بافت خاک شنی لومی و رطوبت ۱۵ درصد انجام شد. یک دستگاه تراکتور MF285 مجهز به سامانه کنترل الکترو هیدرولیکی و یک دستگاه گاوآهن برگرداندار دو خیش سوار برای انجام آزمایش‌های مزرعه‌ای به صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح بلوک کامل تصادفی و با سه تکرار استفاده شدند. تیمارها شامل دو نوع سامانه کنترل (الکترو هیدرولیکی و مکانیکی)، دو سطح سرعت پیشروی (۲/۵ $V_1=$ و $V_2=3/6$ کیلومتر در ساعت) و دو سطح عمق شخم تنظیمی ($d_1=10$ و $d_2=20$) بودند. به منظور تعیین عمق شخم‌های تنظیمی برای سامانه مکانیکی، تراکتور به همراه گاوآهن متصل به آن در بالای سکوی نگه‌داشته شد طوری که بتوان گاوآهن را تا آخر پایین برد. سپس گاوآهن توسط اهرم کنترل عمق (وضعیت) تا عمق‌های ۱۰ و ۲۰ سانتی‌متری پایین برده شد و موقعیت اهرم کنترل در روی کوادرنات با استفاده از گچ علامت گذاری شد.

نتایج و بحث

۳-۱- آزمایش پاسخ گذرا

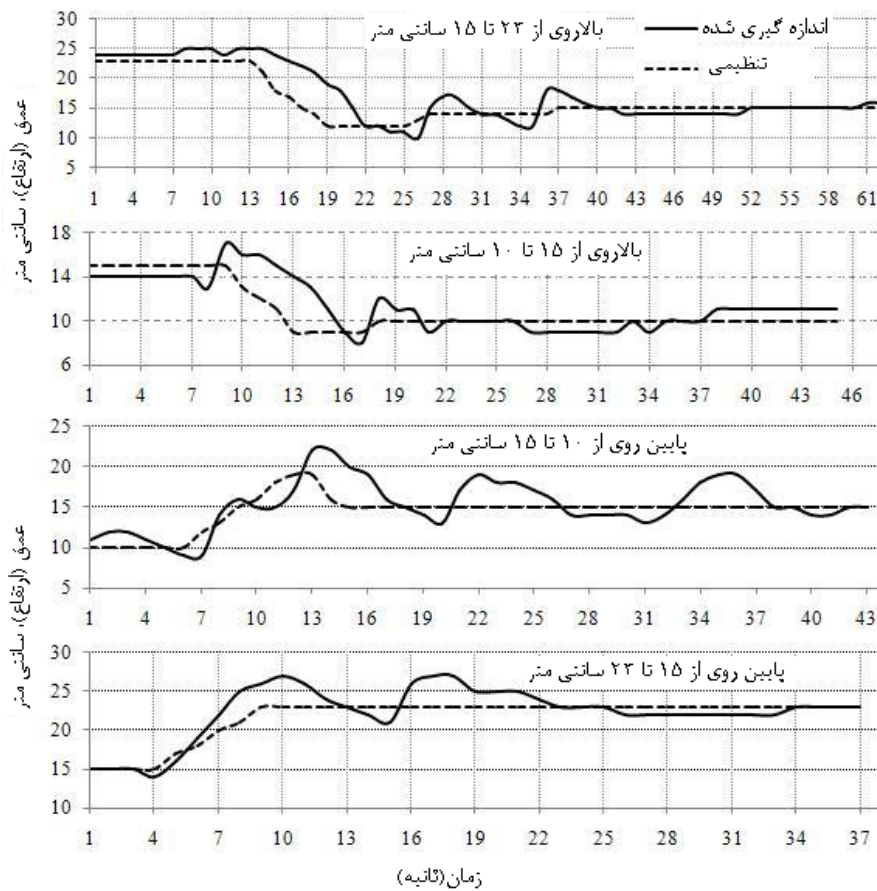
پاسخ گذرای سامانه کنترل الکترو هیدرولیکی در مقابل تغییرات عمق (ارتفاع) از ۱۰ تا ۲۳ سانتی‌متر در سه پله ۱۰، ۱۵ و ۲۳ سانتی‌متر با ناحیه مرگ چهار سانتی‌متر و فاصله زمانی داده برداری ۰/۳ ثانیه در فرآیند بالاروی و پایین روی در شکل ۸ نشان داده شده است. در تمامی آزمایش‌ها دور موتور تراکتور روی دور مشخصه ۲۰۰۰ دور در دقیقه تنظیم شد. نتایج نشان می‌دهد 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 می‌باشد. همانطور که از شکل ۸ پیداست، سامانه کنترل به خوبی تغییرات مقادیر تنظیمی را دنبال کرده و تغییرات عمق (ارتفاع) را در محدوده ± 2 سانتی‌متر (ناحیه مرگ ۴ سانتی‌متر) در حالت پایداری نگه‌داشته است و اختلاف بین مقادیر تنظیمی و اندازه‌گیری 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 می‌باشد و به موارد زیر مربوط می‌شود: (۱) حداکثر سرعت بالاروی سامانه هیدرولیک تراکتور تقریباً ۱۵ سانتی‌متر در ثانیه می‌باشد و باعث ایجاد ۰/۳۳ ثانیه تاخیر زمانی در عملکرد سامانه می‌شود. (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 درازتر شود (۱۵ سانتی‌متر). این امر باعث به وجود آمدن تاخیر زمانی می‌شود. البته لازم به ذکر است که این مشکل قابل رفع می‌باشد.

در حالت پایین روی (تخلیه)، وسیله فقط در اثر وزن خود پایین می‌رود و وزن وسیله در سرعت پایین روی تاثیر دارد. از شکل ۸ مشاهده می‌شود که در هیچ کدام از حالت‌های پایین روی، تاخیر زمانی وجود ندارد بلکه مقداری جهش در عملکرد سامانه مشاهده می‌شود. جهش سامانه در حالت پایین روی را می‌توان این‌گونه بیان کرد که در



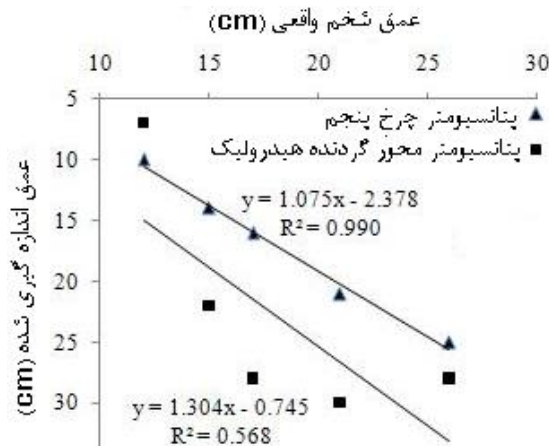
زمان اجرای فرمان پایین روی، موتور پله ای قادر نبود شیر کنترل را به راحتی به صورت پله به پله (حالت کاری مستقل) بچرخاند، بنابراین ناچاراً موتور پله ای در حالت کاری پیوسته به کار گرفته شد. این کار باعث می شد تا مجرای تخلیه شیر کنترل بیش از حد موردنظر برای خطاهای کوچک باز شود و تا بسته شدن دوباره آن توسط 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.

۲-۳- 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 حسگرهای اندازه گیری عمق شخم، هر دو پتانسیومتر در شرایط مزرعه ای نیز کالیبره و ارزیابی شدند. بعد از کالیبره کردن حسگرها 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.

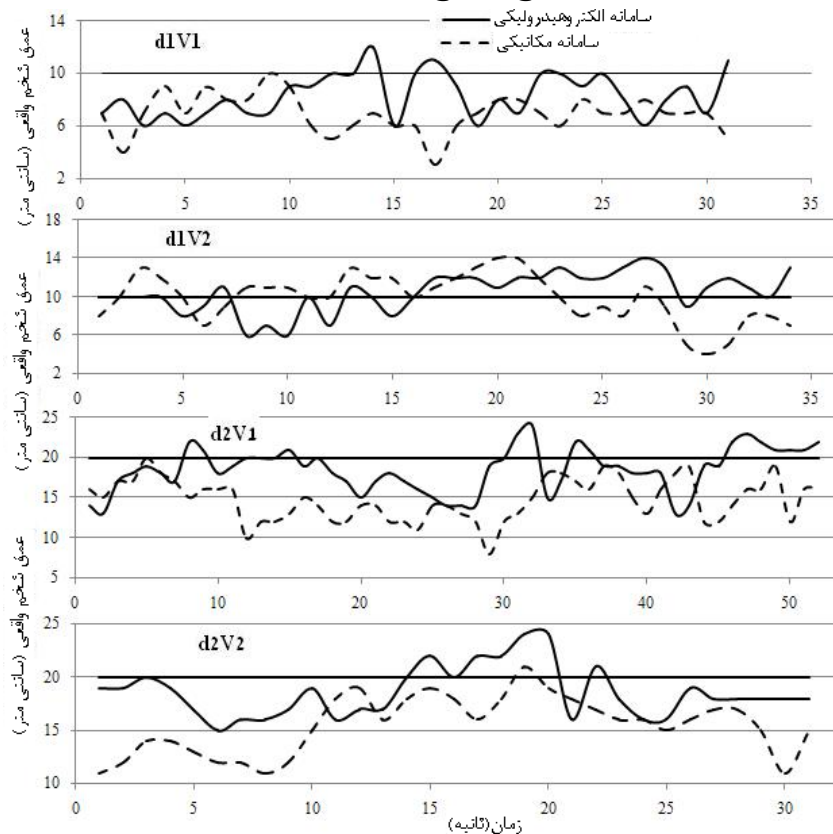
۳-۳- واکنش سامانه ها در مقابل تغییرات عمق شخم

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.

سامانه کنترل الکترو هیدرولیکی 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 الکترو هیدرولیکی 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 الکترو هیدرولیکی در این مورد رضایت بخش بوده است. انحراف معیار سامانه الکترو هیدرولیکی در سرعت پیشروی ۲/۵ کیلومتر در ساعت و در عمق های تنظیمی ۱۰ و ۲۰ سانتی متر به ترتیب ۲/۴۱ و ۲/۲۳ 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 سامانه‌ها حاصل شد. این نتایج نشان می‌دهد که عملکرد سامانه الکتروهیدرولیکی در کنترل عمق شخم بهتر از سامانه مکانیکی بوده است. این نتایج با نتایج بدست آمده توسط (Lee et al., 2000) همخوانی دارد.



شکل ۱۰- واکنش سامانه‌ها در مقابل تغییرات عمق شخم.

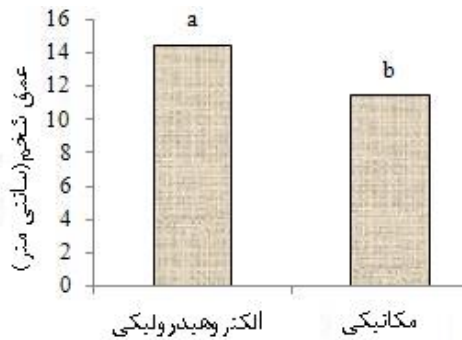
۳-۴- عملکرد سامانه‌های کنترل عمق کار

نتایج تجزیه واریانس داده‌های عمق شخم (بر حسب سانتی متر) نشان داد که نوع سامانه و مقادیر تنظیمی عمق شخم تاثیر معنی داری در سطح احتمال ۱٪ بر روی عمق شخم دارند. مقایسه میانگین‌های عمق شخم سامانه‌ها در شکل ۱۱ نشان می‌دهد که بین مقادیر عمق شخم دو سامانه مکانیکی و الکتروهیدرولیکی اختلاف معنی دار وجود دارد. معنی دار بودن اختلاف میانگین‌های عمق شخم دو سامانه بیانگر این است که سامانه الکتروهیدرولیکی 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.

مقادیر میانگین، انحراف معیار و ضریب تغییرات عمق شخم‌ها برای دو سامانه در جدول ۱ نشان داده شده است. جدول ۱ نشان می‌دهد 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. 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 سامانه‌ها 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 می‌دهد 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.

جدول ۱: عملکرد سامانه‌های 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	۳۶/۱
	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

نتیجه‌گیری

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 مزرعه‌ای 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 مزرعه‌ای 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 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 می‌توان گفت که سامانه الکتروهیدرولیکی در مقایسه با سامانه مکانیکی در کنترل عمق شخم عملکرد بهتری داشته است.



تشکر و قدردانی

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

مراجع

- Anthonis, J., Mouazen, A. M., Saeys, W. and 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 Eng.*, 89(1): 59-67.
- Ayers, P.D., Varma, K.V. and Karim, M.N. 1989. Design and analysis of electro-hydraulic draft control system. *Trans. ASAE* 32(6): 1853-1855.
- Chancellor, W. and Zhang, N. 1989. Automatic wheel-slip control for tractors. *Trans. ASAE* 32(1): 17-22.
- Ismail, S.M., Singh, G. and Gee-Clough, D. 1981. A preliminary investigation of a combined slip and draught control for tractors. *J. Agric. Eng. Res.*, 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. and Shimizu, H. 1998. Electro-hydraulic tillage depth control system for rotary implements mounted on agricultural tractor - design and response experiments of control system. *J. Terramechanics.*, 35(4): 229-238.
- Lee, J., Yamazaki, M., Oida, A., Nakashima, H. and Shimizu, H. 2000. Field performance of proposed foresight tillage depth control system for rotary implements mounted on an agricultural tractor. *J. Terramechanics.*, 37(2): 99-111.
- Pranav, P.K., Tewari, V.K., Pandey, K.P. and Jha, K.R. 2012. Automatic wheel slip control system in field operations for 2WD tractors. *Comput. Electron. Agric.*, 84: 1-6.
- Saeys, W., Engelen, K., Ramon, H. and Anthonis, J. 2007. An automatic depth control system for shallow manure injection, Part 1: Modeling of the depth control system. *Biosystems Eng.*, 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. *Comput. Electron. Agric.*, 7: 269-284.



نهمین کنگره ملی مهندسی ماشین‌های کشاورزی

(مکانیک بیوسیستم) و مکانیزاسیون

پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران

۲ و ۳ اردیبهشت ۱۳۹۴ - کرج



Electro-hydraulic tillage Depth Control System for Tillage Implements

Abstract

An automatic electro-hydraulic tillage depth control system minimizing the difference between the actual and desired tillage depth was developed. The control system was composed of: a depth sensor, a Programmable Logic Controller, a stepper motor with driver, a control valve and a Programmable Terminal (control panel). In this system, the tillage depth was measured by utilizing the signal output of a depth sensor, which consisted of a fifth wheel and a potentiometer. A rotary type valve controlled by the stepper motor was used to 3-point linkage and tillage depth control.

A Massey Ferguson 285 2WD tractor equipped with a developed electro-hydraulic depth control system and a two bottom mounted moldboard plow were used to perform the laboratory and field experiments. The laboratory results showed that the depth variations were controlled well by the developed system within ± 2 cm in the steady state. Also the field data indicated that the mean tillage depth of electro-hydraulic depth control system was greater than that of the mechanical depth control system with significance difference.

Key words: electro-hydraulic, tillage, depth control, PLC, stepper motor.