Archive of SID

مجله مهندسی بیوسیستم ایران (۴۱) ۲، ۱۳۸۹ (۱۰۴-۹۷)

ارزیابی و مقایسه عملکرد مزرعه ای دو سامانه کنترل کشش خودکار برای تراکتور مسی فرگوسن مدل ۳۹۹

نوروز مراد اصغرلو[۱]*، سعید مینایی[۲]، رضا علیمردانی[۳]، علیمحمد برقعی[۴] و فرخ درویش[۵]

[۱، ۴، ۵] دانشجوی دکتری و استاد، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران، [۲] دانشیار، دانشگاه تربیت مدرس،
[۳] دانشیار ، دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی، دانشگاه تهران

(تاریخ دریافت: ۱۳۸۸/۱۰/۱۵- تاریخ تصویب: ۱۳۸۹/۶/۲۹)

چکیده

در این پژوهش عملکرد دو سامانه کنترل کشش مکانیکی و الکترونیکی خودکار در تراکتور مسی فرگوسن مدل ۳۹۹ در شرایط مزرعه‌ای ارزیابی و مقایسه شد. تاثیر دو نوع سامانه کنترل (سامانه کنترل مکانیکی موجود بر روی تراکتور و سامانه کنترل الکترونیکی) در چهار سرعت پیشروی و سه مقدار کشش تنظیمی بر درصد لغزش، مصرف سوخت، نیروی فشاری در ساق وسط و عمق کار در حین شخم با گاوآهن برگردان دار سوار سه خیش با به کارگیری آزمایش فاکتوریل در قالب طرح بلوک های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه شرکت تراکتور سازی تبریز با خاک شنی لومی بررسی گردید. نتایج آزمون مزرعه ای نشان داد که میانگین درصد لغزش و مصرف سوخت در حالت کنترل الکترونیکی در مقایسه با حالت مکانیکی کاهش معنی دار داشت. نیروی فشاری در ساق وسط و عمق کار در سامانه الکترونیکی نسبت به سامانه مکانیکی کاهش یافت و این امر به کاهش درصد لغزش و مصرف سوخت منجر شد. به طور کلی با افزایش سرعت پیشروی و کاهش مقدار کشش تنظیمی، مصرف سوخت کاهش یافت. درصد لغزش چرخ‌های محرک برای سامانه الکترونیکی در تمامی تیمارها زیر۲۰ درصد بود در حالی که با سامانه مکانیکی، درصد لغزش به ۳۹ درصد نیز رسید.

واژه های کلیدی: تراکتور، حسگر، کنترل الکترونیکی کشش، درصد لغزش، مصرف سوخت

مقدمه

متفاوت بودن شرایط خاک در نقاط مختلف مزرعه، وجود سامانه های کنترل کشش خودکار را به منظور ثابت نگه داشتن نیروی کششی تراکتور علی رغم تغییرات سفتی خاک در حین عملیات خاک ورزی ضروری می سازد. پیشرفت در زمینه طراحی و تولید حسگرها، کارانداز ها و میکروکنترلرهای ارزان قیمت باعث شده است تا استفاده از سامانه های الکترونیکی برای کنترل خودکار تراکتورها و ادوات کشاورزی با هدف بهبود بازده تولید، افزایش پیدا کند (Cowell & Milne,1977; Jeyong Lee et al., 1998). تراکتورهای ساخت داخل کشور دارای سامانه کنترل کشش خودکار هیدرومکانیکی هستند. به دلیل پایین بودن دقت مکانیزم های اندازه گیری مکانیکی در مقایسه با مبدل های الکترونیکی و همچنین وجود تاخیر زمانی در اجرای فرمان کنترلی، عکس العمل سامانه های هیدرومکانیکی به موقع نبوده و این امر در اکثر موارد باعث بیش باری تراکتور می شود. لذا توسعه سامانه کنترل کشش خودکار الکترونیکی با حساسیت مناسب، قیمت ارزان و سازگار با شرایط و امکانات تراکتورهای ساخت داخل حائز اهمیت است.

Kolator (1999) در تحقیقی از یک دستگاه تراکتور مجهز به سامانه کنترل الکتروهیدرولیکی شرکت بوش، استفاده کرد. آزمون‌های مزرعه ای در خاک غیر یکنواخت لومی شنی با یک دستگاه کولتیواتور سوار انجام شد. نتایج نشان داد که درسامانه مکانیکی نوسانات عمق کار و نیروی کششی به ترتیب ۱۶ سانتی‌متر و ۵/۴۹ کیلو نیوتن در حالی که این مقادیر در سامانه الکترونیکی ۶/۷۴ سانتی متر و ۵/۷۶ کیلونیوتن بوده است. Schuber & Orbach (2000) و Wiegard & Hanks (1985) یک نوع سامانه کنترل ادوات سوار یا کشیدنی را ابداع کردند. در این سامانه ها از مبدل های نیرو در بازوهای پایینی و از پتانسیومتر برای اندازه‌گیری موقعیت محور گردنده هیدرولیک و سوپاپ های سولنوئیدی برای فرمان دادن به جک هیدرولیک تراکتور استفاده شد. Ayers et al. (1989) سامانه ی کنترل کشش الکتروهیدرولیکی طراحی کردند که در آن از دینامومتر حلقوی برای اندازه‌گیری نیروی کششی و شیر کنترل تناسبی سولنوئیدی برای فرمان دادن به وسیله خاک ورز استفاده گردید.

مقایسه عملکرد سامانه کنترل الکترونیکی خودکار و سامانه کنترل مکانیکی کشش تراکتور توسط Chancellor & Zhang (1989) در مزرعه نشان داد که در هنگام دیسک زنی استفاده از سامانه کنترل الکترونیکی، لغزش را ۲۱ درصد کاهش داد که

* نویسنده مسئول: noroozmoradi@yahoo.com

www.SID.ir

Archive of SID

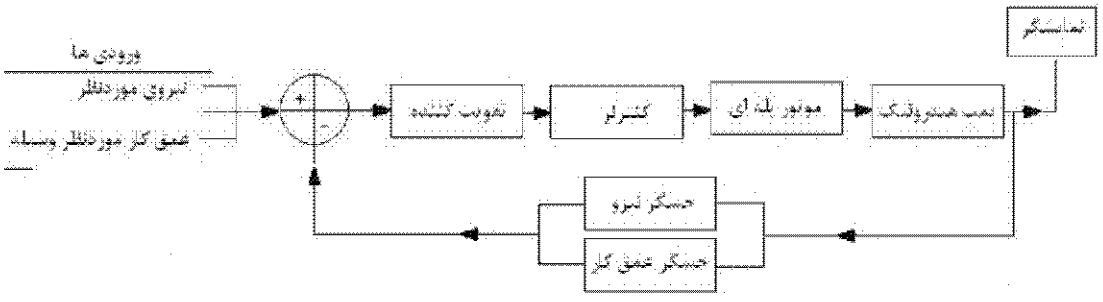
این امر به هفت درصد کاهش در نیروی مالبندی، شش درصد افزایش در سرعت پیشروی و ۹ درصد کاهش در مصرف سوخت در واحد سطح منجر گردید. استفاده از سامانه کنترل الکترونیکی در هنگام شخم زنی با خاک ورز برگردان‌دار، لغزش را ۹ درصد کاهش داد. این امر منجر به سه درصد افزایش در سرعت پیشروی، ۱۱ درصد کاهش در عمق کار و کاهش شش درصدی مصرف سوخت در واحد سطح گردید.

Ismail et al. (1983) در تحقیقی عملکرد سه نوع سامانه (کنترل مکانیکی کشش، کنترل الکترونیکی درصد لغزش و کنترل الکترونیکی ترکیبی درصد لغزش- کشش) را در مزرعه مورد ارزیابی قرار دادند. مقایسه مستقیم عملکرد سامانه ها برای چهار سطح رطوبت مختلف نشان داد که سامانه کنترل درصد لغزش در کنترل نیروی کششی ضعیف عمل می‌کند، ولی نیروی کششی توسط سامانه کنترل کشش و سامانه کنترل ترکیبی به خوبی کنترل می شود. میانگین درصد لغزش در هر دو سامانه کنترل لغزش و ترکیبی خیلی نزدیک به سطح تنظیمی نگه داشته شد و بالاترین درصد لغزش در هنگام به کارگیری سامانه کنترل کشش به وجود آمد. نتایج آزمون‌های مزرعه‌ای Naderloo et al. (2009) و Al-Janobi & Al-Suhaibani (1998) در اندازه‌گیری مقاومت کششی ادوات خاک ورزی اولیه نشان داد که میزان مقاومت کششی ادوات خاک ورزی به طور معنی‌داری با افزایش سرعت، افزایش می‌یابد. همچنین رابطه بین عمق کار و مقاومت کششی ادوات معمولا به طور خطی تغییر می کند. Abbaspour et al. (2006) گزارش کردند که با افزایش سرعت پیشروی، نیروی کششی افزایش و مصرف سوخت کاهش پیدا کرد. همچنین گزارش شده است که با افزایش عمق شخم، نیروی کششی، درصد لغزش چرخ‌ها و مصرف سوخت تراکتور افزایش می‌یابد (Soltani & Loghavi, 2008). همچنین گزارش کردند که اثر سرعت پیشروی بر روی نیروی کششی معنی دار نبود و با افزایش سرعت پیشروی درصد لغزش افزایش و مصرف سوخت کاهش پیدا کرد (Naghavi et al., 2007).

هدف از اجرای این تحقیق، ارزیابی به کارگیری سامانه کنترل الکترونیکی بر مصرف سوخت، درصد لغزش چرخ های محرک، عمق کار و نیروی فشاری در ساق وسط تراکتور و مقایسه آن با سامانه مکانیکی موجود بر روی تراکتور بود.

مواد و روش ها

سامانه کنترل کشش مکانیکی در تراکتور مسی فرگوسن مدل ۳۹۹ بر اساس اندازه گیری تغییر در مقاومت کششی ادوات از طریق حس کردن نیروی وارده به ساق وسط و تغییر در عمق کار آن به منظور ثابت نگه داشتن مقدار کشش تراکتور استوار است. به همین دلیل سامانه کنترل کشش الکترونیکی نیز بر اساس اندازه‌گیری نیروی وارده به ساق وسط و تغییر دادن عمق کار طراحی و ساخته شد. سامانه کنترل الکترونیکی شامل حسگر اندازه‌گیری عمق کار، حسگر اندازه‌گیری سرعت واقعی تراکتور، حسگر اندازه‌گیری سرعت نظری، مبدل نیروی ساق وسط، پردازشگر، صفحه کنترل و نمایش، موتور پله‌ای و درایور موتور پله‌ای می‌باشد. پردازشگر با مقایسه مقادیر نیروی تنظیمی و اندازه‌گیری شده در ساق وسط تراکتور خطای نیرو و با مقایسه عمق کار تنظیمی و عمق کار اندازه‌گیری شده خطای عمق کار تولید می‌کند. سیستم اتصال سه نقطه بر اساس ترکیب این دو خطا کنترل می‌شود. نمودار بلوکی کلی سامانه کنترلی الکترونیکی در شکل ۱ نشان داده شده است.



شکل ۱ - نمودار بلوکی سامانه کنترل الکترونیکی کشش

در این پژوهش از پتانسیومتر زاویه‌ای برای اندازه‌گیری عمق کار وسیله و برای اندازه گیری سرعت واقعی از روش چرخ پنجم و حسگر چرخش سنج ۱۰۰ پالسی محصول شرکت اتونیکس با نام تجاری (E50S8-100-3-T-24) استفاده شد. سرعت تئوری نیز با به کارگیری حسگر چرخش سنج ۵۰۰ پالسی با نام تجاری (E50S8-500-6-L-5) اندازه گیری شد. پردازشگر با مقایسه سیگنال های خروجی از حسگرهای چرخش سنج درصد لغزش چرخ‌های محرک را محاسبه می‌کند. به منظور اندازه‌گیری نیرو در ساق وسط از کرنش سنج استفاده شد و عضو میانی ساق وسط که سطح مقطع کوچکتری نسبت به دو

www.SID.ir

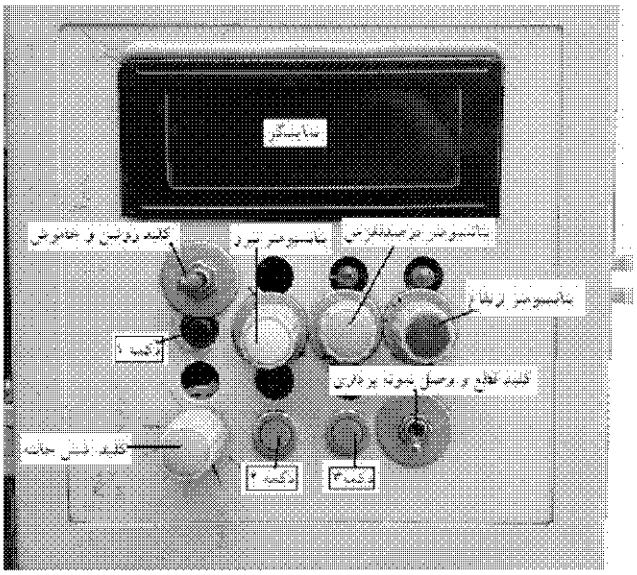
Archive of SID

قطعه انتهایی دارد، به عنوان عنصر ارتجاعی در نظر گرفته شد. حساسیت این مبدل ۰/۱۲۶ میلی ولت بر کیلونیوتن به دست آمد که پس از تقویت کردن از خروجی آن استفاده شد. نتایج واسنجی نشان داد که رابطه خطی با ضریب تبیین بالایی (R^2=۰/۹۹۹) بین نیروهای اعمال شده و خروجی مبدل نیرو وجود دارد. برای اندازه گیری سوخت مصرفی تراکتور در آزمون‌های مزرعه ای از یک مخزن استوانه ای مدرج و یک شیر کنترل جهت استفاده شد. سوخت برگشتی موتور به باک قطع و به لوله خروجی استوانه در محلی قبل از شیر کنترل وصل شد و لوله خروجی باک نیز به انشعاب دیگر شیر کنترل وصل گردید. با قرار دادن شیر در یک وضعیت، سوخت مصرفی موتور از باک گازوییل قطع و از مخزن استوانه‌ای از طریق مسیر سیستم سوخت‌رسانی تراکتور تامین شد و در وضعیت دیگر مسیر سوخت از استوانه قطع و سوخت مصرفی موتور از باک گازوییل تامین شد. پیش از هر مسیر آزمایش، استوانه مدرج با سوخت برگشتی موتور پر می شد. برای اندازه گیری سوخت مصرفی در طول هر کرت دو تیرک به فاصله ۵۰ متر از یکدیگر نصب شدند. با رسیدن چرخ عقب تراکتور به تیرک اول، مسیر ارسال سوخت از باک به پمپ انژکتور قطع و سوخت مصرفی از استوانه مدرج تامین شد. با عبور چرخ عقب تراکتور از مقابل تیرک دوم تراکتور خاموش می شد. اختلاف سطح سوخت قبل و بعد از مسیر آزمایش، مقدار سوخت مصرف شده را نشان می داد.

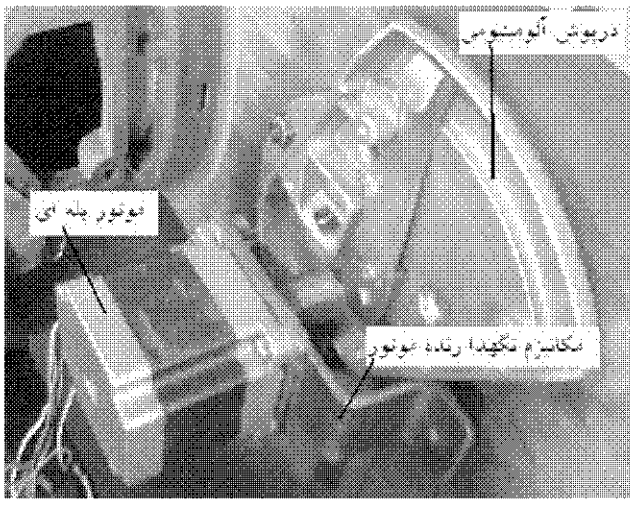
در سخت افزار سامانه الکترونیکی از میکروکنترلر ATM128 از خانواده AVR برای پردازش اطلاعات و صدور فرمان کنترل به عمل کننده، از یک صفحه نمایشگر برای نشان دادن وضعیت ورودی‌ها و حالت‌های مختلف کنترلی دستگاه، یک حافظه جانبی برای داده‌برداری از متغیرهای ورودی و خروجی استفاده شد. راننده در صفحه کنترل می تواند تنظیمات کنترلی از قبیل سرعت موتور پله‌ای و حساسیت بالاروی و پایین روی سامانه هیدرولیک را انجام دهد و مقادیر تنظیمی مربوط به نیرو و عمق کار وسیله را وارد نماید (شکل ۲). یک موتور پله‌ای به عنوان عمل کننده به همراه دریوار آن جهت فرمان دادن به پمپ هیدرولیک تراکتور به کار برده شد. بدین صورت که موتور پله ای، اهرم سوپاپ قرقره ای (اصلی) پمپ هیدرولیک را جابه جا کرده و از این طریق دبی روغن ارسالی از پمپ به جک هیدرولیک کنترل می شود (شکل ۳).

آزمون مزرعه ای

آزمون‌های مزرعه‌ای در مزرعه‌ی شرکت تراکتورسازی ایران- تبریز با خاک شنی لومی و میانگین رطوبت وزنی ۱۰درصد بر مبنای وزن خشک انجام شد. برای انجام آزمون های مزرعه ای از یک تراکتور مسی فرگوسن مدل ۳۹۹ تک دیفرانسیل با توان ۹۸ اسب بخار مجهز به سامانه اندازه گیری و کنترل الکترونیکی طراحی شده و یک دستگاه خاک ورز برگردان دار سوار سه خیش یک طرفه با عرض کار موثر یک متر استفاده گردید. برای اجرای این پژوهش آزمایش فاکتوریل در قالب طرح بلوک های کامل تصادفی در سه تکرار به کار برده شد و ابعاد کرت‌های آزمایشی ۲×۵۰ متر مربع بود. تیمارها شامل دو نوع سامانه کنترل مکانیکی و سامانه کنترل الکترونیکی، سرعت پیشروی در چهار سطح (۲/۵، ۳، ۴/۵، ۵/۵ کیلومتر در ساعت) و مقدار کشش تنظیمی در سه سطح مختلف(کم-متوسط—زیاد) بود. در کلیه تیمارها سرعت موتور تراکتور در دور مشخصه (۲۰۰۰ دور در دقیقه) نگه داشته شد.



شکل ۲- صفحه کنترل و نمایش



شکل ۳- موتور پله ای نصب شده بر روی تراکتور

پارامترهای مورد ارزیابی شامل میزان درصد لغزش، مصرف سوخت، نیروی فشاری در ساق وسط و عمق کار بود. منظور از مقدار کشش تنظیمی در سامانه کنترل مکانیکی سه وضعیت

www.SID.ir

Archive of SID

تنظیمی اهرم کنترل کشش و در سامانه کنترل الکترونیکی سه سطح نیرو می‌باشد. به منظور انتخاب سطوح مختلف مقادیر کشش تنظیمی برای سامانه کنترل الکترونیکی، ابتدا آزمایش های مزرعه ای با سامانه کنترل مکانیکی در سه موقعیت مختلف اهرم کنترل کشش بر روی قطاع کوادرانت انجام شد. سپس برای به دست آوردن مقدار نیروی فشاری در ساق وسط به منظور تحریک سامانه کنترل کشش مکانیکی تراکتور، ساق وسط در حالت افقی به یک ستون تکیه داده شد و همزمان با رانده شدن تراکتور به عقب، نیروی وارده به ساق وسط در لحظه تحریک سامانه کنترل مکانیکی از روی مبدل نیروی ساق وسط برای هر سه موقعیت تنظیمی اهرم کنترل کشش اندازه گیری و قرائت شد. نیروهای اندازه گیری شده برای سه موقعیت اهرم کنترل کشش، ۴،۲/۵ و ۵ کیلو نیوتن به دست آمد. با توجه به اینکه در انجام این آزمایش ها با سامانه مکانیکی عمق شخم از صفر تا بیش از ۳۰ سانتی‌متر متغیر بود و حداکثر عمق کار گاوآهن های برگردان دار ۳۰ سانتی متر می‌باشد، به همین دلیل برای سامانه الکترونیکی در تمامی آزمایش ها عمق شخم ۳۰ سانتی متر انتخاب شد.

برای تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها و تهیه جداول تجزیه واریانس و مقایسه میانگین‌ها از نرم افزار SAS استفاده شد. برای رسم نمودارها از نرم افزار Excel استفاده گردید. در صورت معنی دار شدن هر عامل آزمایشی، میانگین ها با حداقل تفاوت معنی دار (LSD) در سطح احتمال پنج درصد مقایسه شدند.

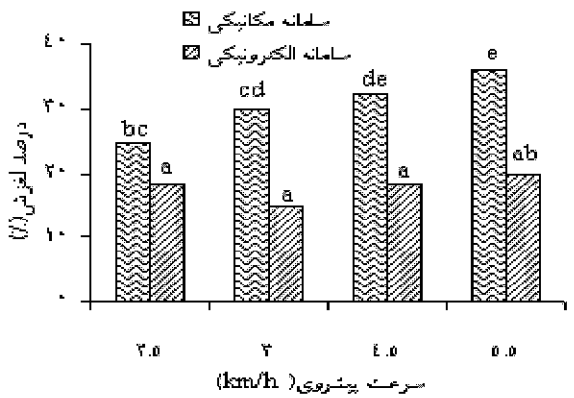
نتایج و بحث

درصد لغزش چرخ های محرک

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر اصلی متغیرهای مستقل بر درصد لغزش در سطح احتمال ۱٪ معنی دار می‌باشد. بررسی اثر متقابل ها نیز نشان داد که اثر متقابل نوع سامانه و سرعت پیشروی در سطح احتمال ۵٪ و اثر متقابل سامانه و مقادیر کشش تنظیمی در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار می‌باشد (جدول ۱).

مقایسه میانگین های درصد لغزش برای دو سامانه کنترل و چهار سرعت پیشروی متفاوت در شکل ۴ نشان می دهد که بین مقادیر میانگین‌های این دو سامانه در تمامی سرعت‌های مشابه، اختلاف معنی‌داری وجود دارد و اختلاف میانگین‌ها به گونه‌ای است که در سامانه کنترل الکترونیکی در سرعت‌های ۲/۵، ۳، ۴/۵ و ۵/۵ کیلومتر در ساعت به ترتیب ۲۶ درصد، ۵۰/۹ درصد، ۴۲/۹ درصد و ۴۴/۷ درصد از مقدار درصد لغزش در مقایسه با سامانه کنترل مکانیکی کاسته شده است. این مطلب نشان می‌دهد که سامانه کنترل الکترونیکی میزان لغزش چرخ‌های محرک را به خوبی کنترل می کند. این یافته با نتایج دیگران در مورد عملکرد سامانه الکترونیکی مطابقت دارد (Ismail et al., 1983; Chancellor & Zhang, 1989). علت وجود اختلاف معنی دار در تیمارهای سامانه و سرعت را می‌توان در حساسیت سامانه‌های کنترل کشش دانست که به دلیل حساسیت کم سامانه مکانیکی، درصد لغزش این سامانه بیشتر است. درصد لغزش چرخ‌های محرک تراکتور در هنگام استفاده از سامانه کنترل مکانیکی بین ۲۵ تا ۳۵/۹ درصد می‌باشد. در حالی که با سامانه کنترل الکترونیکی در تمامی سرعت‌ها زیر ۲۰ درصد نگه‌داشته شد. همچنین در هر دو سامانه، با افزایش سرعت پیشروی، درصد لغزش افزایش یافته است، چون با افزایش سرعت پیشروی تراکتور، مقاومت کششی ادوات نیز افزایش پیدا می‌کند. افزایش مقاومت کششی ابزار خاک ورز در اثر افزایش سرعت به دلیل شتاب بیشتری است که هر نوع خاک در صورت جابه‌جایی سریعتر به خود می‌گیرد. افزایش مقاومت کشش نیز باعث افزایش درصد لغزش می شود (Naghavi et al., 2007). البته درصد لغزش سامانه الکترونیکی در سرعت ۲/۵ نسبت به سرعت ۳ کیلومتر در ساعت بیشتر است که ممکن است به دلیل نرم شدن ناگهانی بیش از حد خاک باشد.

بین میانگین‌های درصد لغزش دو سامانه به استثناء حداقل مقدار تنظیمی کشش در مقادیر کشش تنظیمی دیگر اختلاف معنی‌داری وجود دارد چون به دلیل ثابت بودن حساسیت بالاروی در سامانه مکانیکی با افزایش مقدار کشش تنظیمی، واکنش سامانه هیدرومکانیکی کاهش می‌یابد (شکل ۵). در هنگام به کارگیری سامانه الکترونیکی در مقادیر کشش تنظیمی ۱، ۲ و ۳ به ترتیب ۱۱، ۴۷ و ۴۹/۶ درصد در مقایسه با سامانه مکانیکی از درصد لغزش کاسته شده است. سامانه الکترونیکی به دلیل داشتن حساسیت بالاروی مناسب در مقایسه با سامانه مکانیکی به موقع در مقابل تغییرات نیروی کششی واکنش نشان داده و از افزایش درصد لغزش جلوگیری می‌کند. این یافته با نتیجه تحقیق Ismail et al. (1983) مطابقت دارد.



شکل ۴. مقایسه میانگین های درصد لغزش دو سامانه کنترل در سرعت پیشروی متفاوت

www.SID.ir

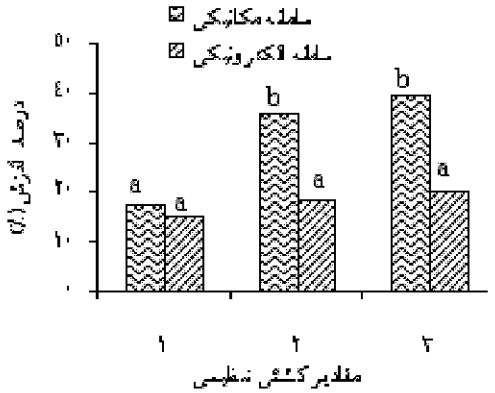
Archive of SID

جدول ۱- نتایج تجزیه واریانس سامانه های کنترل

منابع تغییرات	درجه آزادی	F			
		درصد لغزش	گشتاورهای محرک	سوخت مصرفی	بهره کاری در ساعت	عملکرد
تکرار	۲	۰/۵۴ ns	۱/۷۶ ns	-/۹۴ ns	-/۲۲۸ ns
سامانه	۱	۸۳/۸۳ **	۲۵۱/۶۷ **	۴/۹۴ *	۴۱/۲۸ **
سرعت	۳	۳/۶۸ **	۷۱/۴۸ **	۱/۵۹ ns	۱/۹ ns
مقادیر تنظیمی	۲	۲۲/۶۳ **	۹۶/۸۲ **	۱۲-/۸۳ **	۱۴/۴ **
سامانه× سرعت	۳	۲/۹۹ *	۸/۵۷ **	-/۳۵ ns	-/۴۲ ns
سامانه × مقادیر تنظیمی	۲	۱۶/۶۸ **	۴۸/۷۶ **	۳۹/۲۴ **	۲/۲۹ ns
سرعت × مقادیر تنظیمی	۶	۰/۸ ns	۴/۷۶ **	-/۴۳ ns	۱/۱۹ ns
سامانه × سرعت × مقادیر تنظیمی	۶	۱/۱۷ ns	۶/۵۹ **	۲/۲ ns	۲/۳۹۸ *
خطا	۴۶				
ضریب تغییرات		/۲۴/۴۵	/۹/۱۴	/۱۱/۴۲	/۸/۵۸

** معنی دار در سطح احتمال ۱٪ * معنی دار در سطح احتمال ۵٪ ns معنی دار نمی باشد.

همچنین در شکل ۵ مشاهده می شود که با افزایش مقادیر کشش تنظیمی، صرف نظر از نوع سامانه کنترل، درصد لغزش افزایش یافته است و این افزایش در سامانه مکانیکی معنی‌دار ولی در سامانه الکترونیکی معنی دار نبوده است. این مساله بدین دلیل است که افزایش مقادیر کشش تنظیمی باعث افزایش عمق کار و متعاقبا مقاومت کششی گاوآهن می‌شود. در نتیجه افزایش مقاومت کششی باعث افزایش درصد لغزش چرخ های محرک می‌شود. همچنین گزارش شده است که با افزایش عمق شخم درصد لغزش افزایش می یابد (Soltani & Loghavi, 2008).



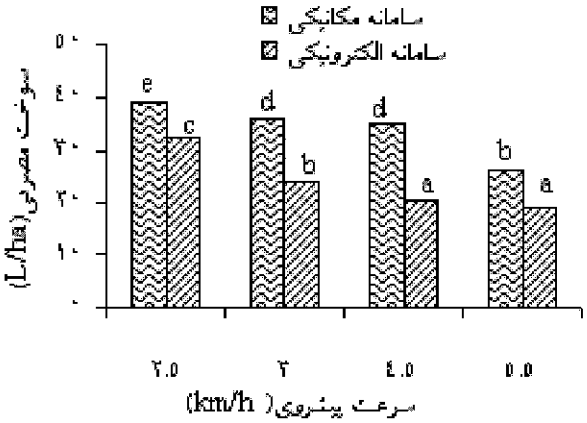
شکل ۵- تاثیر نوع سامانه و مقادیر تنظیمی کشش بر درصد لغزش چرخ‌های محرک

سوخت مصرفی

تجزیه واریانس داده‌های مصرف سوخت در سطوح مختلف نوع سامانه، سرعت پیشروی و مقادیر کشش تنظیمی در جدول ۱ نشان می دهد که تمامی فاکتورها و اثر متقابل دوگانه و سه‌گانه آن‌ها تاثیر معنی داری بر میزان سوخت مصرفی در سطح احتمال ۱٪ دارند. مقایسه میانگین های میزان سوخت مصرفی در تیمارهای مختلف سامانه و سرعت در شکل۶ نشان می دهد که بین میانگین های سوخت مصرفی این دو سامانه در تمامی سرعت‌های مشابه اختلاف معنی‌داری وجود دارد و استفاده از سامانه الکترونیکی مصرف سوخت را در حداقل سرعت پیشروی به میزان ۱۶/۸درصد و در حداکثر سرعت پیشروی ۲۷/۵ درصد کاهش داد. نتایج تحقیق Chancellor & Zhang (1989) نیز نشان داد که مصرف سوخت در سامانه کنترل الکترونیکی در مقایسه با سامانه کنترل مکانیکی به میزان قابل توجهی کاهش یافته است که با نتایج این پژوهش همخوانی دارد. بالا بودن مصرف سوخت در سامانه مکانیکی را می توان ناشی از پایین بودن حساسیت سامانه مکانیکی و بالا بودن میزان لغزش چرخ های محرک دانست. همانطور که در شکل ۶ مشاهده می شود با افزایش سرعت در هر سامانه مقدار سوخت مصرفی کاهش یافته است که با نتایج گزارش شده توسط دیگران مطابقت دارد (Abbaspour et al., 2006; Naghavi et al., 2007). دلیل این تاثیر را می توان این گونه بیان کرد که با افزایش سرعت پیشروی، در مدت زمان کمتری تراکتور واحد سطح مزرعه را طی می کند در نتیجه مقدار سوخت مصرفی در واحد سطح کاهش می یابد.

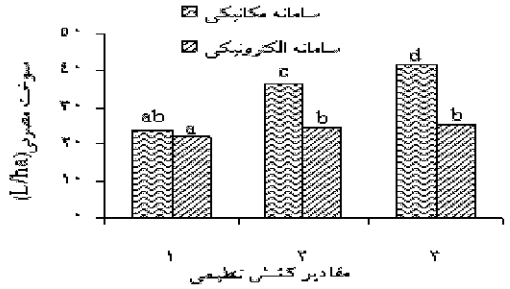
www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۶– مقایسه مصرف سوخت دو سامانه کنترل در سرعت پیشروی متفاوت

مقایسه میانگین های سوخت مصرفی سامانه‌ها در مقادیر کشش تنظیمی در شکل ۷ نشان می‌دهد که بین مقادیر سوخت مصرفی برای دو سامانه مکانیکی و الکترونیکی در مقادیر کشش تنظیمی ۲ و ۳ اختلاف معنی دار وجود دارد ولی در مقدار کشش تنظیمی ۱ اختلاف معنی دار نیست چون در مقدار کشش تنظیمی ۱ مقاومت کششی وسیله کمتر است و واکنش هر دو سامانه در مقابل تغییرات سفتی خاک مناسب است. سامانه الکترونیکی در مقایسه با سامانه مکانیکی به میزان ۳۲ و ۳۸/۷ درصد به ترتیب در مقادیر کشش تنظیمی ۲ و ۳، مصرف سوخت را کاهش داده است. علت وجود اختلاف معنی دار در سوخت مصرفی در مقادیر تنظیمی زیاد (در اجرای شخم عمیق) را می‌توان در حساسیت سامانه های کنترل کشش به نیروی مقاومت کششی دانست که با زیادتر شدن عمق شخم وزن گاوآهن زیاد می شود و سامانه مکانیکی به دلیل ثابت بودن حساسیت بالاروی آن نمی‌تواند به موقع در مقابل تغییرات مقاومت کششی ادوات واکنش نشان دهد و گاوآهن را بلند کند. سامانه‌های کنترل مکانیکی کشش تراکتورها براساس ترکیب نیرو و عمق شخم کار می‌کنند. آزمایش‌های مشاهده‌ای انجام شده در کارگاه و مزرعه نشان داد که در سامانه مکانیکی، این دو فاکتور با یکدیگر هماهنگ یا متناسب عمل نمی کنند به عبارت دیگر برای یک موقعیت ثابت اهرم کنترل کشش روی قطاع کوادرانت، عمق کار وسیله ثابت نیست. این دلیل در مواردی که حتی نیروی وارد به ساق وسط از حد تنظیمی کمتر است، باعث ایجاد مشکل می‌شود به عنوان مثال در نقاطی از مزرعه که خاک نرم‌تری دارد، خیش‌ها بیش از حد به درون خاک نفوذ می‌کنند که باعث ایجاد لغزش زیاد می‌شود و در این شرایط راننده مجبور است اهرم کنترل کشش را به طرف بالا آورده تا گاوآهن بالا بیاید و در اکثر موارد خیش ها کاملا از خاک بیرون آورده می شوند. همچنین از شکل ۷ مشاهده می شود که با افزایش مقادیر کشش تنظیمی صرف نظر از نوع سامانه، میزان سوخت مصرفی افزایش یافته است که با نتایج گزارش شده توسط Soltani & Loghavi (2008) و Abbaspour et al. (2006) مطابقت دارد. چون با افزایش مقدار تنظیمی کشش، نیروی کششی مورد نیاز افزایش و به تبع آن مقدار سوخت مصرفی نیز افزایش می یابد.



شکل ۷– تاثیر نوع سامانه کنترل و مقادیر تنظیمی کشش بر میانگین مصرف سوخت

نیروی فشاری در ساق وسط

نتایج حاصل از تجزیه واریانس اثرات سامانه کنترل، سرعت پیشروی و مقادیر کشش تنظیمی بر نیروی فشاری در ساق وسط سیستم اتصال سه نقطه در جدول ۱ نشان می دهد که اثرات نوع سامانه کنترل و مقادیر کشش تنظیمی و همچنین اثرات متقابل آن ها بر نیروی فشاری در ساق وسط، در سطح احتمال ۱٪ معنی دار است. سامانه کنترل کشش صرفنظر از نوع آن بر اساس بر اساس ترکیبی از نیرو و عمق کار عمل می کند و وظیفه آن ثابت نگه داشتن نیروی کششی وارده به تراکتور در هر شرایطی می‌باشد. چنانچه سامانه کنترل کشش حساسیت مطلوب داشته باشد، قادر به انجام این وظیفه خواهد شد. به همین دلیل در تحقیق حاضر اثر سرعت بر نیروی فشاری در ساق وسط، معنی دار مشاهده نمی شود و این به دلیل عملکرد صحیح سامانه های کنترل کشش می باشد. این نتایج با نتایج دیگران که در آزمایش‌های مزرعه‌ای به جای سامانه کنترل کشش از سامانه کنترل موقعیت استفاده کرده اند، مغایرت دارد زیرا در این حالت سامانه کنترل کشش فعال نیست تا نیروی وارده به تراکتور را کنترل نماید (Naderloo et al., 2009; Al-Janobi & Al-Suhaibani, 1998). لازم به ذکر است که در موقع شخم زدن حتما باید سامانه کنترل کشش به کار گرفته شود. این نتیجه با نتایج Naghavi et al. (2006) که در آزمون‌های مزرعه‌ای از سامانه کنترل کشش خودکار استفاده کرده‌اند، مطابقت دارد. مقایسه میانگین های نیروی فشاری در ساق وسط در تیمار های نوع سامانه و مقادیر کشش تنظیمی در شکل ۸ نشان می‌دهد که میانگین‌های دو سامانه در سطوح تنظیمی ۲ و۳ با هم اختلاف معنی داری دارند. دلیل معنی دار نبودن اختلاف میانگین‌ها در سطح تنظیمی ۱ این است که حساسیت بالاروی در سامانه مکانیکی ثابت است در نتیجه با

www.SID.ir

Archive of SID

افزایش مقدار کشش تنظیمی، واکنش سامانه هیدرومکانیکی کاهش می‌یابد. به کارگیری سامانه کنترل الکترونیکی منجر به کاهش ۱۶ درصدی نیروی فشاری در مقدار کشش تنظیمی ۲ و ۲۰ درصدی در مقدار کشش تنظیمی ۳ شده است که در اینجا دلیل پایین بودن درصد لغزش و مصرف سوخت سامانه الکترونیکی نسبت به سامانه کنترل مکانیکی آشکار می‌شود. چون با افزایش نیروی کششی، سرعت پیشروی پایین آمده و در نتیجه‌ی آن درصد لغزش چرخ های محرک افزایش می‌یابد. این امر منجر به افزایش مصرف سوخت تراکتور می شود. این روند با نتایج گزارش شده توسط دیگران مطابقت دارد (Ismail et al., 1983; Chancellor & Zhang, 1989).

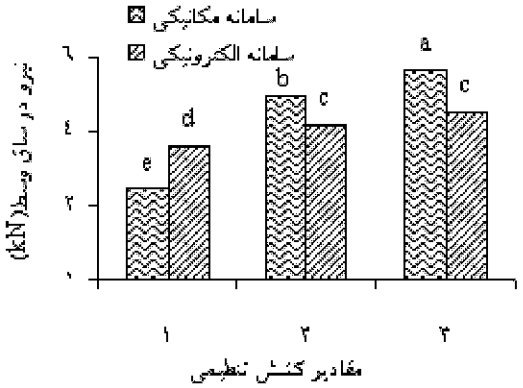
جدول ۲- مقایسه میانگین های عمق کار (برحسب سانتی متر) در تیمارهای مختلف

سرعت (km/h)	مقادیر کشش تنظیمی	سامانه مکانیکی	سامانه الکترونیکی
	۱	۲۰/۴۲^{cdefg}	۱۶/۸^{ijk}
۲/۵	۲	۲۳/۸۸^{a}	۱۹/۴۲^{cdefghi}
	۳	۲۰/۸۴^{bcde}	۱۸/۹۳^{defghijk}
	۱	۱۷/۹۳^{ghijk}	۱۸/۵^{efghijk}
۳	۲	۲۳/۴۳^{ab}	۱۶/۶۱^{jk}
	۳	۲۱/۶۱^{abcd}	۲۰/۸۸^{bcde}
	۱	۲۱/۰۷^{bcde}	۱۷/۰۲^{ijk}
۴/۵	۲	۲۰/۸۱^{bcdef}	۲۰/۲۴^{cdefgh}
	۳	۲۱/۶۲^{abcd}	۱۹/۱۹^{defghij}
	۱	۱۷/۵۲^{hijk}	۱۶/۳۱^{k}
۵/۵	۲	۲۲/۰۴^{abc}	۱۸/۸۵^{efghijk}
	۳	۲۰/۴^{cdefg}	۱۸/۱^{fghijk}

× میانگین های دارای حروف مشترک از نظر آماری اختلاف معنی داری ندارند(LSD 5%).

عمق کار

تجزیه واریانس داده‌های عمق کار (بر حسب سانتی متر) در سطوح مختلف نوع سامانه، سرعت پیشروی و مقادیر کشش تنظیمی در جدول ۱ نشان می‌دهد که نوع سامانه و مقادیر تنظیمی تاثیر معنی‌داری در سطح احتمال ۱٪ بر عمق کار دارند. همچنین اثرات سه جانبه سامانه، سرعت و مقادیر کشش تنظیمی در سطح احتمال ۵٪ معنی دار است. مقایسه میانگین‌های عمق کار در جدول ۲ نشان می‌دهد که میانگین‌ها در سامانه کنترل الکترونیکی در حداکثر مقدار کشش تنظیمی و در تمامی سرعت‌های مشابه با میانگین‌های عمق کار سامانه مکانیکی اختلاف معنی داری ندارند. ولی در مقادیر تنظیمی ۱ و ۲ اختلاف معنی‌داری بین میانگین‌های این دو سامانه وجود دارد. ملاحظه می‌شود که عمق کار در سامانه کنترل الکترونیکی در مقایسه با سامانه مکانیکی مقدار کمتری دارد. البته بزرگترین اختلاف میانگین ها مربوط به سرعت ۳ کیلومتر در ساعت و مقدار تنظیمی کشش متوسط است که ۶/۸ سانتی متر است و در بقیه موارد اختلاف کمتر از ۵ سانتی متر می‌باشد که این مقدار در عملیات خاک ورزی اولیه زیاد نیست. کاهش جزئی عمق کار در سامانه الکترونیکی باعث کاهش درصد لغزش و سوخت مصرفی تراکتور شده است که در بخش‌های قبلی به آنها اشاره شد. این نتیجه با یافته‌های Ismail et al. (1983) مطابقت دارد که آن‌ها گزارش دادند عمق کار در هنگام به کارگیری سامانه کنترل الکترونیکی نیرو در مقایسه با سامانه مکانیکی کاهش یافته است.



شکل ۸- اثر نوع سامانه کنترل و مقادیر تنظیمی کشش بر نیروی فشاری در ساق وسط

نتیجه گیری

به دلیل قابل تنظیم بودن حساسیت بالاروی و پایین روی بازوهای اتصال سه نقطه در سامانه الکترونیکی، عملکرد این سامانه در شرایط مزرعه‌ای رضایت بخش بود و کنترل عمق شخم گاوآهن در مقابل تغییرات شرایط خاک به موقع انجام گردید.

در تمامی سرعت ها و مقادیر کشش تنظیمی مشابه، سامانه کنترل مکانیکی در مقایسه با سامانه کنترل الکترونیکی مقادیر درصد لغزش و سوخت مصرفی بیشتری داشت. با افزایش سرعت پیشروی و مقادیر کشش تنظیمی به دلیل پایین بودن حساسیت بالاروی سامانه مکانیکی، اختلاف این میانگین‌ها افزایش نشان داد.

به کارگیری سامانه کنترل الکترونیکی منجر به کاهش ۱۶ درصدی نیروی فشاری در مقدار کشش تنظیمی ۲ و ۲۰ درصدی در مقدار کشش تنظیمی ۳ شد و در اینجا علت پایین بودن درصد لغزش و مصرف سوخت با سامانه الکترونیکی نسبت به سامانه مکانیکی آشکار می شود.

عمق کار در سامانه الکترونیکی در مقایسه با سامانه مکانیکی مقدار کمتری دارد. البته اختلاف میانگین‌ها به استثناء یک مورد در بقیه موارد کمتر از ۵ سانتی‌متر می باشد. کاهش

www.SID.ir

Archive of SID

جزئی عمق کار در سامانه الکترونیکی باعث کاهش درصد لغزش و سوخت مصرفی تراکتور شده است.

REFERENCES

Abbaspour-Gilandeh, Y., Khalilian, A., Alimardani, R., Keyhani, A., & Saadati, S. H. (2005). A Comparison of uniform-depth and variable-depth tillage as affected by travel speed and soil moisture. *Journal of Iranian Agricultural Science*, 37(4), 473-483 (in Farsi with English Abstract).

Al-Janobi, A. A. & S. A. Al-Suhaibani. (1998). Draft of primary tillage implements in sandy loam soil. *Applied Engineering in Agriculture*, 14 (4), 343-348.

Ayers. P. D., Varma, K. V. & Karim, M. N. (1989). Design and analysis of electro hydraulic draft control system. *Transactions of the ASAE*, 32 (6), 1853-1855.

Chancellor, W. & Zhang, N. (1989). Automatic Wheel-Slip Control for Tractors. *Transaction of the ASAE*, 32(1), 17-22.

Cowell, P. A. & M. J. Milne. (1977). An implement control system using pure draught sensing and modified linkage geometry. *Journal of Agriculture Engineering Research*, 22, 353-371.

Ismail. S. M., Singh, G. & Gee-Clough, D. (1983). Comparison of the field performance of three implements control systems for a tractor. Journal of Agriculture Engineering Research,(28), 521-536.

Ismail. S. M., Singh, G. & Gee-Clough, D. (1981). A preliminary Investigation of a Combined Slip and Draught Control for Tractors. *Journal of Agriculture Engineering Research*, 26, 293-306.

Jeyong. Lee., 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, 229-238.

Kolator, B.(1999). Mechatronic control of the implement linkage of agricultural tractors. Available at *www. Pan-ol.lublin.*

Naderloo, L., Alimadani, R., Akram, A., Javadikia, P. & Zeinali Khanghah, H. (2009). Tillage depth and forward speed effects on draft of three primary tillage implements in clay loam soil. *Journal of Food, Agriculture & Environment*, 7 (3&4), 132-135.

Naghavi, G., Khoshtaghaza, M. & Minaea, S. (2006). The effect of ground speed and ballasting on wheel slippage and fuel consumption of two wheel drive ITM 285 Tractor. *Journal of Agricultural Science*, 12(3), 694-701 (in Farsi).

Schuber, W.L. & Orbach, A. (2000). Control system for a hitched or trailed implement. US Patent No: 6,105,679, from *http:// www. uspto.gov*.

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. US Patent No: 4,508,176, from *http:// www. uspto.gov*

.

www.SID.ir