



طراحی، توسعه و ارزیابی سامانه کنترل الکترونیکی درصد لغزش برای تراکتور MF399

نوروز مرادصغری^۱، رضا علیمردانی^۲، سعید مینایی^۳، علیمحمد برقی^۴

۱- عضو هیئت علمی دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تبریز (مکاتبه کننده، (E-mail: noroozmoradi@yahoo.com)

۲- استاد گروه مکانیک ماشین‌های کشاورزی، دانشکده مهندسی بیوسیستم دانشگاه تهران

۳- استاد گروه مکانیک ماشین‌های کشاورزی، دانشکده کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس

۴- استاد گروه مکانیک ماشین‌های کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات تهران

چکیده

یک سامانه کنترل درصد لغزش طراحی و بر روی تراکتور مسی فرگوسن مدل ۳۹۹ نصب و تاثیر آن بر روی درصد لغزش ارزیابی گردید. در این سامانه یک حسگر چرخش سنج برای اندازه گیری سرعت واقعی تراکتور و یک حسگر مغناطیسی برای اندازه گیری سرعت تئوری بکار برده شد. سیگنال‌های خروجی از حسگرها به پردازشگر مرکزی ارسال شدند و پردازشگر پس از محاسبه درصد لغزش و مقایسه آن با مقدار تنظیمی، فرمان لازم را به موتور پله ای جهت تغییر عمق کار وسیله به منظور ثابت نگه داشتن درصد لغزش صادر کرد.

نتایج واسنجی حسگرها نشان داد که خطای سامانه اندازه گیری درصد لغزش در شرایط مزرعه ای تقریباً ۲ درصد بود. آزمون‌های مزرعه ای برای سامانه‌های کنترل الکترونیکی درصد لغزش و کنترل مکانیکی کشش در چهار سرعت پیشروی و سه مقدار تنظیمی کشش در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در خاک شنی لومی اجرا گردید. نتایج نشان داد که مقادیر در سامانه الکترونیکی به میزان ۴۳،۳۵ و ۴۹ درصد به ترتیب در مقادیر تنظیمی کشش ۱، ۲ و ۳ کاهش یافت. کاهش درصد لغزش باعث کاهش سوخت مصرفی سامانه الکترونیکی در مقادیر تنظیمی کشش مشابه شد. کاهش درصد لغزش در سامانه الکترونیکی باعث کاهش سوخت مصرفی گردید. بین میانگین سوخت مصرفی دو سامانه در تمامی سرعت‌های مشابه اختلاف معنی دار وجود داشت، طوری که سوخت مصرفی در سامانه الکترونیکی نسبت به سامانه مکانیکی کمتر بود.

کلمات کلیدی: تراکتور، درصد لغزش، سوخت مصرفی و موتور پله ای.

مقدمه

تراکتورهای ساخت داخل دارای سامانه کنترل کشش هیدرومکانیکی هستند. در این سامانه از نیروی فشاری در ساق وسط یا نیروی کششی در بازوهای پایینی تراکتور به عنوان پارامتر کنترلی استفاده می‌شود. در سامانه کنترل کشش مکانیکی، نظارتی بر درصد لغزش چرخ‌ها وجود ندارد. هنگام استفاده از ادوات خاک‌ورزی، لغزش چرخ‌های محرک جهت اعمال نیروی کششی توسط تراکتور، لازم است. اما درصد لغزش زیاد باعث کاهش بازده سوخت، ظرفیت مزرعه ای و افزایش سایش لاستیک‌ها می‌شود. محققین زیادی گزارش کرده‌اند که به منظور حصول حداکثر بازده کشش، علاوه بر افزودن سنگین‌کننده مناسب به تراکتور، در صد لغزش چرخ‌ها بایستی در محدوده ۸

الی ۱۵ درصد کنترل گردد. درصد لغزش چرخ ها را می توان از طریق تغییر دادن پارامترهای مختلفی از جمله عمق کار وسیله، کنترل کرد.

Thansandot et al. (۱۹۷۷) از دو عدد حسگر راداری داپلر برای اندازه گیری درصد لغزش استفاده کردند. در این تحقیق چرخ پنجم و بارگیر مغناطیسی نیز بر روی تراکتور نصب شد و با همدیگر مقایسه گردیدند. نتایج نشان داد که تفاوت بین سرعت های پیشروی محاسبه شده توسط حسگر راداری داپلر با روش چرخ پنجم کمتر از یک درصد می باشد و همبستگی بالایی بین درصد لغزش اندازه گیری شده توسط این دو سامانه وجود دارد. Lyne and Meiring (۱۹۷۷) از یک مبدل فتوالکتریک برای اندازه گیری درصد لغزش چرخ ها استفاده کردند. نتایج آزمایش ها نشان داد که این مبدل قادر به اندازه گیری درصد لغزش با خطای کمتر از یک درصد می باشد. Nasrabadi (۱۳۷۳) دستگاه اندازه گیری درصد لغزش را طراحی و ارائه دادند که در آن از یک حسگر بارگیر مغناطیسی برای اندازه گیری سرعت دورانی چرخ پنجم و از یک حسگر نوری مادون قرمز برای اندازه گیری سرعت دورانی چرخ عقب تراکتور استفاده شد. این دستگاه در شرایط کارگاهی ارزیابی شد و نتایج نشان داد که دقت سامانه در حد مطلوب است. Raheman and Jha (۲۰۰۶) یک سامانه اندازه گیری درصد لغزش بر پایه میکروکنترلر برای اندازه گیری درصد لغزش چرخ های تراکتور ارائه دادند. سامانه ارائه شده، درصد لغزش اندازه گیری شده در شرایط بی باری و در روی زمین بتنی را خیلی نزدیک به یک نشان داد. در شرایط بار و در زمین بتنی، اختلاف بین درصد لغزش نشان داده شده توسط سامانه و محاسبه شده به روش دستی کمتر ۲ درصد بود. این حسگر در شرایط مزرعه ای و با یک گاواهن برگرداندار ارزیابی شد. نتایج آزمایش ها نشان داد که همبستگی نزدیک به یک بین لغزش نشان داده شده توسط حسگر و محاسبه شده به روش دستی وجود دارد.

Chancellor & Zhang (۱۹۸۹) سامانه کنترل خودکار درصد لغزش چرخ های تراکتور را ابداع کردند که در آن از یک حسگر راداری داپلر برای اندازه گیری سرعت پیشروی، حسگر بارگیر مغناطیسی برای اندازه گیری سرعت دورانی چرخ های محرک استفاده کردند. مقایسه عملکرد سامانه های کنترل الکترونیکی و کنترل مکانیکی کشش تراکتور توسط در مزرعه نشان داد که در هنگام دیسک زنی استفاده از سامانه کنترل الکترونیکی، لغزش را ۲۱ درصد کاهش داد که 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 برگردان دار، 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. (۱۹۸۱) نیز سامانه کنترل خودکار لغزش ارائه دادند که در آن از مبدل های فتوالکتریک برای اندازه گیری سرعت ها استفاده کردند. آزمایش ها برای هر دو سامانه مکانیکی و الکترونیکی در مزرعه انجام گردید و نتایج نشان داد که در سامانه مکانیکی راننده موقعی متوجه درصد لغزش چرخ ها می شد که درصد لغزش بالای ۳۰ درصد بود. نتایج نشان داد که در سامانه کنترل الکترونیکی درصد لغزش، زمانی که لغزش محاسبه شده با مقدار تنظیمی تفاوت داشت، وسیله به طرف بالا آورده شد و هیچ گونه دخالتی از طرف راننده برای کنترل دستی اهرم کنترل کشش لازم نشد.

Ismail et al. (۱۹۸۳) در تحقیق دیگری سامانه قبلی را تصحیح و در آن به جای موتور الکتریکی از سوپاپ های سولنوئیدی استفاده کردند و عملکرد سه نوع سامانه (کنترل مکانیکی، کنترل درصد لغزش و کنترل ترکیبی

درصد لغزش-نیرو) 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 می کند، 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 بکارگیری سامانه کنترل کشش به وجود آمد. . Abbaspour et al (۲۰۰۶) 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 چرخ ها و مصرف سوخت تراکتور افزایش می یابد (Soltani & Loghavi, 2008). با افزایش سرعت پیشروی درصد لغزش افزایش و مصرف سوخت کاهش پیدا کرد (Naghavi et al, 2007).

مواد و روش ها

حسگر اندازه گیری سرعت واقعی

در این تحقیق روش چرخ پنجم برای اندازه گیری سرعت پیشروی بکار گرفته شد. چرخ پنجم از طریق بازویی به صورت مفصلی طوری به بدنه تراکتور وصل شد که در پشت چرخ جلوی سمت چپ تراکتور قرار گیرد و رد اثر چرخ جلو را دنبال کند و چرخ پنجم امکان جابجایی عمودی در هنگام عبور از پستی و بلندی های زمین را داشته باشد. برای اندازه گیری سرعت دورانی چرخ پنجم از یک حسگر چرخش سنج ۱۰۰ پالسی استفاده شد. چرخش سنج توسط مکانیزمی به شکل U وارونه مطابق شکل ۳ به چرخ پنجم متصل شد. در نصب حسگر چرخش سنج بر روی چرخ پنجم سعی شد، محور حسگر با محوری که به مرکز چرخ متصل شده، دقیقاً هم مرکز باشد. محور حسگر چرخش سنج و محور چرخ با یک لوله لاستیکی ضخیم و سفت به همدیگر متصل شدند. (شکل ۱).

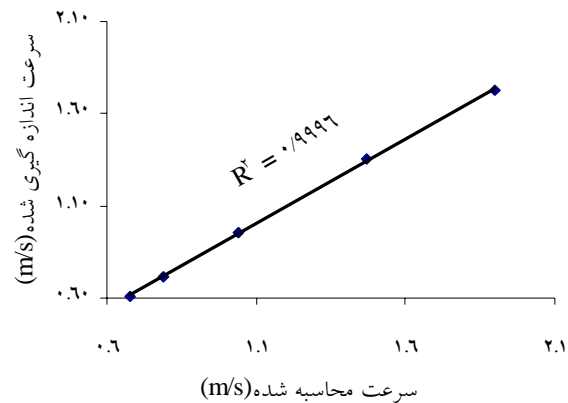


شکل ۱. مجموعه چرخ پنجم

واسنجی حسگر اندازه گیری سرعت واقعی

برای واسنجی چرخ پنجم، در یک مسیر آسفالت مسطح ۵۰ متری، زمان پیمایش تراکتور توسط کرنومتر درنده های مختلف (سبک-1، سنگین-2، سبک-2، سنگین-3، سبک-3 و سبک-3) تراکتور مسی فرگوسن مدل ۳۹۹ -

MF و هر کدام با سه تکرار اندازه گیری شد. با تقسیم مسافت بر زمان طی شده برای هر آزمایش، سرعت پیشروی محاسبه گردید. از طرف دیگر در حین آزمایش ها، سرعت اندازه گیری شده توسط چرخ پنجم در حافظه پردازشگر ثبت گردید. نتیجه واسنجی در شکل ۲ نشان می دهد که رابطه خطی بالایی با ضریب تبیین بالا بین سرعت اندازه گیری شده با چرخ پنجم و سرعت محاسبه شده از فرمول، وجود دارد و دقت چرخ پنجم برای اندازه گیری سرعت پیشروی مناسب می باشد.



شکل ۲. واسنجی حسگر اندازه گیری سرعت واقعی

حسگر اندازه گیری سرعت تئوری

برای اندازه گیری سرعت دورانی چرخ های محرک از یک حسگر مغناطیسی حساس به آهن استفاده گردید. این حسگر توسط سوراخی که در پوسته دیفرانسیل ایجاد شد، دقیقاً عمود بر دندانهای چرخنده کرانویل نصب شد (شکل ۳).

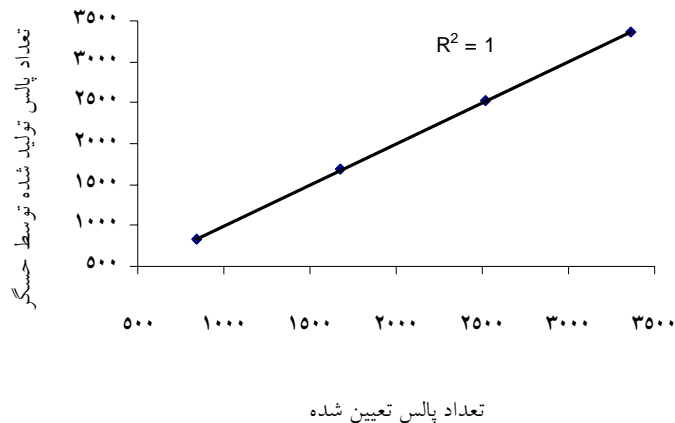


شکل ۳. حسگر مغناطیسی

واسنجی حسگر اندازه گیری سرعت تئوری

برای واسنجی این حسگر، تعداد پالس شمارش شده توسط حسگر به ازای تعداد دورهای مشخص چرخ عقب (۵، ۱۰، ۱۵ و ۲۰ دور) و با ۳ تکرار برای هر دور مشخص، ثبت گردید. تعداد دندانهای چرخنده کرانویل ۳۵

عدد و نسبت دور کرانویل به دور چرخ ها $\frac{4}{8}$ بود. بنابراین حسگر مغناطیسی به ازای یک دور چرخ های عقب تراکتور ۱۶۸ پالس تولید کرد. نتایج واسنجی در شکل ۴ نشان می دهد که تعداد پالس های شمارش شده توسط حسگر و تعداد پالس های واقعی (تعداد دندانها ها به ازای دورهای مشخص) برابر است و این بیانگر این است که دقت حسگر برای اندازه گیری سرعت دورانی چرخ ایده آل می باشد.



شکل ۴. نمودار واسنجی حسگر مغناطیسی

واسنجی سامانه اندازه گیری درصد لغزش چرخ های محرک

سیگنال های خروجی از حسگرها به پردازشگر مرکزی ارسال می شوند و پردازشگر مطابق برنامه نوشته در حافظه آن، با استفاده از رابطه زیر، درصد لغزش چرخ های محرک محاسبه می کند:

$$s = \left(1 - \frac{V_a}{V_t}\right) \times 100 \quad (1-3)$$

V_a : سرعت پیشروی واقعی (m/s)

V_t : سرعت پیشروی تئوری (m/s)

s : درصد لغزش

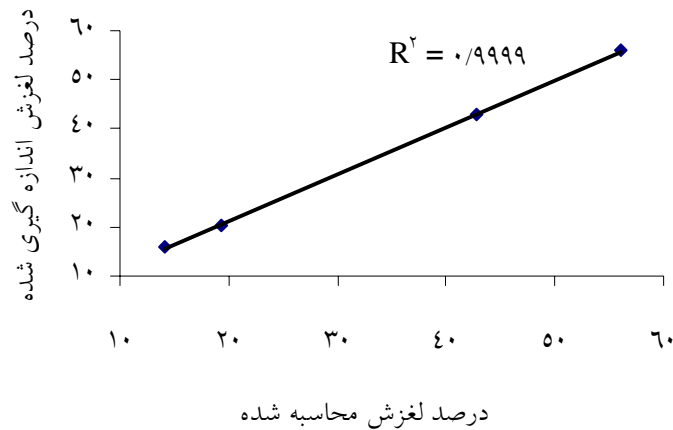
ابتدا جهت اطمینان از صحت کارکرد سامانه اندازه گیری در صد لغزش، تراکتور در حالت بدون بار در یک مسیر آسفالتی ۱۰۰ متری رانده شد و این کار در چهار سرعت مختلف، سه بار تکرار شد. مقادیر در صد لغزش اندازه گیری شده توسط سامانه اندازه گیری، نشان داد که درصد لغزش روی سطح سخت در حالت بی باری نزدیک به صفر است. برای ارزیابی دقیق تر سامانه اندازه گیری، تراکتور دیگری توسط این تراکتور در یک مسیر ۵۰ متری آسفالتی در چهار سرعت مختلف، کشیده شد. تراکتور عقبی درحین آزمایش ها در یک دنده ثابت پایین قرار داشت و هر آزمایش سه بار تکرار شد. زمان لازم برای پیمایش ۵۰ متری در حالت بار و در حالت بی باری اندازه گیری شد. در ادامه درصد لغزش از فرمول زیر محاسبه شد:

$$S = \left(1 - \frac{T_t}{T_a}\right) \times 100 \quad (2-3)$$

T_t : زمان لازم برای پیمایش مسیر ۵۰ متری در حالت بی باری

T_a : زمان لازم برای پیمایش مسیر ۵۰ متری در حالت بار

همچنین در حین آزمایش درصد لغزش اندازه گیری شده توسط سامانه اندازه گیری در حافظه پردازشگر ذخیره گردید. نمودار واسنجی نشان می دهد که ضریب همبستگی بالایی بین مقادیر اندازه گیری شده و محاسبه شده وجود دارد (شکل ۵).



شکل ۵. نمودار واسنجی سامانه اندازه گیری درصد لغزش

برای ارزیابی سامانه اندازه گیری درصد لغزش در شرایط مزرعه ای ابتدا تراکتور با گاوآهن وصل شده، در حالیکه گاوآهن در موقعیت کاملاً بالا قرار داشت، در یک مسیر ۱۰۰ متری رانده شد و این کار در چهار سرعت مختلف، سه بار تکرار شد. آزمایش ها نشان داد که در صد لغزش اندازه گیری شده در مزرعه تقریباً ۳ درصد است. این مقدار به عنوان نقطه صفر (مبنا) در نظر گرفته شد. وجود این مقدار درصد لغزش در حالت بی باری در مزرعه ممکن است به دلیل تغییر شعاع غلتشی دینامیکی چرخ های عقب باشد در حالیکه شعاع غلتشی اعمال شده در برنامه در شرایط بی باری (بدون گاوآهن) اندازه گیری شده بود. برای ارزیابی دقیق تر سامانه اندازه گیری، آزمایش هایی در حین شخم زنی نیز انجام شد. آزمایش ها در چهار سرعت پیشروی مختلف و با سه تکرار صورت گرفت. طول هر مسیر آزمایش ۱۰۰ متر بود و تمام آزمایش ها در یک موقعیت ثابت اهرم کنترل کشش روی کوادرنان اجرا گردید. نتایج نشان داد که خطای اندازه گیری این سامانه برای سرعت های ۳ تا ۶/۵ کیلومتر در ساعت کمتر از ۲ درصد می باشد (جدول ۱).

درصد لغزش اندازه گیری شده توسط سامانه (%)	درصد لغزش واقعی (%)	سرعت پیشروی (km/h)
۳۰/۲	۳۱/۱	۳
۲۰/۱	۱۹/۵	۴/۵
۲۷/۷	۲۸/۳	۵/۵
۲۸	۲۸/۶	۶/۵

انتخاب و نصب موتور پله ای

در این تحقیق از موتور پله ای به عنوان عمل کننده جهت فرمان دادن به پمپ هیدرولیک تراکتور استفاده شد. بدین صورت که موتور پله ای، اهرم سوپاپ قرقه ای (اصلی) پمپ هیدرولیک را جابجا کرده و از این طریق دبی

روغن ارسالی از پمپ به جک هیدرولیک کنترل می شود. محل نصب موتور پله ای (موقعیت محور موتور نسبت به اهرم سوپاپ پمپ هیدرولیک) در میزان گشتاور مورد نیاز برای جابجایی اهرم سوپاپ تاثیر گذار است. هر چه قدر فاصله محور موتور از اهرم زیادتر باشد، گشتاور مورد نیاز برای جابجا کردن اهرم افزایش خواهد یافت. بر این اساس سعی شد، موتور پله ای در کمترین فاصله ممکن از اهرم نصب شود. موتور پله ای بر روی درپوش حساسیت که اهرم کنترل حساسیت و درجه روغن روی آن تعبیه شده، نصب گردید. با توجه به مکان قرار گیری موتور پله ای، بعد از مشخص شدن محل نصب موتور، فاصله مرکز محور آن نسبت به اهرم اندازه گیری شد و حداکثر گشتاور مورد نیاز برای جابجا کردن اهرم سوپاپ، ۱۵ کیلو گرم در سانتی متر به دست آمد. علاوه بر گشتاور مورد نیاز، سرعت جابجایی اهرم (سرعت موتور) نیز بایستی مشخص گردد. به منظور تخمین سرعت موتور پله ای، ابتدا یک موتور پله ای مستعمل خریداری شد و با انجام آزمایش هایی مشخص شد که سرعت موتور بایستی بیش از ۱۰۰ دور در دقیقه باشد. با توجه به مطالب فوق، برای اینکه سامانه کنترل الکترونیکی در سرعت های بالای شخم زنی نیز حساسیت مناسبی داشته باشد، موتور پله ای مورد استفاده بایستی قادر باشد، گشتاور ۱۵ کیلوگرم در سانتی متر را در سرعت ۱۰۰ دور در دقیقه اعمال نماید. با در نظر گرفتن نکات ذکر شده در بالا از یک موتور پله ای مدل TS3684N1E3 ساخت شرکت تاماگاوا ژاپن که قادر است گشتاوری معادل ۳۵ کیلوگرم در سانتی متر اعمال کند، به همراه دریوار آن استفاده گردید. موتور پله ای توسط مکانیزمی مطابق شکل ۶ بر روی درپوش حساسیت سوار گردید. محل نصب موتور با استفاده از کاسه نمد کوچک و چسب مخصوص آب بندی شد تا از نشت روغن جلوگیری شود.



شکل ۶. موتور پله ای نصب شده روی تراکتور

سخت افزار و نرم افزار سامانه کنترل

در سخت افزار سامانه الکترونیکی از میکروکنترلر ATM128 از خانواده AVR برای پردازش اطلاعات و صدور فرمان کنترل به موتور پله ای، از یک صفحه نمایشگر برای نشان دادن وضعیت ورودی ها و حالت های مختلف کنترلی دستگاه، یک حافظه جانبی برای داده برداری از متغیرهای ورودی و خروجی استفاده شد. کلید هایی برای انتخاب حالتهای برنامه و مدیریت آن به پورت C میکروکنترلر وصل شدند. یک کلید شش حالتی برای انتخاب حالت های مختلف کار، یک کلید نیز برای روشن و خاموش کردن دستگاه، یک کلید دو حالتی برای انتخاب عمل نمونه برداری (که با انتخاب حالت های مختلف آن عمل نمونه برداری شروع یا متوقف می شود) دلیل تعبیه این کلید

جلوگیری از افزایش حجم فایل ذخیره شده در حافظه جانبی می باشد، از سه عدد دکمه فشاری^۱ برای انجام تنظیمات کنترلی، سه عدد پتانسیومتر نیز به ورودی های مبدل آنالوگ به دیجیتال میکروکنترلر وصل شده اند. راننده تراکتور با استفاده از این پتانسیومتر ها، مقادیر موردنظر درصد لغزش، حساسیت بالاروی و پایین روی سامانه هیدرولیک تراکتور را وارد می کند. راننده در صفحه کنترل می تواند تنظیمات کنترلی از قبیل سرعت موتور پله ای و حساسیت بالاروی و پایین روی سامانه هیدرولیک را انجام دهد و مقادیر تنظیمی مربوط به درصد لغزش را وارد نماید (شکل ۷). پردازشگر با مقایسه مقادیر درصد لغزش تنظیمی و اندازه گیری شده، سیگنال خطایی تولید می کند. موتور پله ای و در نتیجه سامانه اتصال سه نقطه بر اساس سیگنال خطا کنترل می شود.

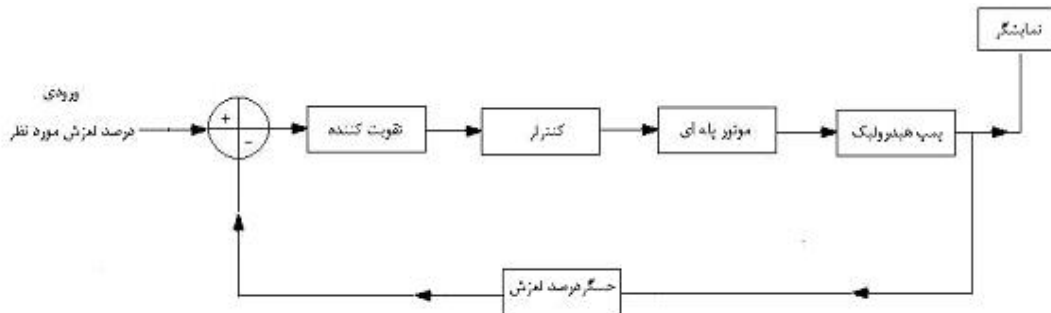


شکل ۷. صفحه کنترل و نمایش

برنامه ی کنترلی و نمایش مقادیر، در نرم افزار Code vision نوشته شد و به داخل میکرو کنترلر فراخوانی گردید. قسمت نمایش و مانیتورینگ برنامه دارای چند صفحه می باشد که با روشن کردن سامانه می توان به آن ها دسترسی یافته و تنظیمات لازم را انجام داد. در شکل ۷ تصویر واقعی صفحه کنترل نشان داده شده است. با روشن شدن سامانه در صفحه ی اول نوع سامانه کنترل (هیدرومکانیکی - الکترونیکی) انتخاب می شود. در صفحه دوم، دور موتور پله ای، حساسیت بالاروی و پایین روی سامانه هیدرولیکی با استفاده از پتانسیومترهای ۱ و ۲ انتخاب می شود. در صفحه ی سوم آدرس شروع داده برداری در حافظه ی جانبی تعیین می شود و همچنین عمل داده برداری فعال یا غیر فعال می شود. با فشار دادن دکمه های شماره ۲ و ۳ می توان به صفحه ی بعدی و یا قبل رفت. بعد از اتمام تنظیمات و رفتن به صفحه ی چهارم، با فشار دادن دکمه ی شماره ۱ برنامه از منوی تنظیمات خارج شده و

¹ - Push - button

عمل داده برداری (البته در صورت فعال بودن) و صدور فرمان های لازم شروع می شود. دیاگرام بلوکی سامانه کنترلی الکترونیکی در شکل ۸ نشان داده شده است.



شکل ۸. دیاگرام بلوکی سامانه کنترل الکترونیکی

برای اندازه گیری سوخت مصرفی تراکتور در آزمون های مزرعه ای از یک مخزن استوانه ای مدرج و یک شیر کنترل جهت استفاده شد

آزمون مزرعه ای

آزمون های مزرعه ای در مزرعه ی شرکت تراکتورسازی ایران- تبریز با خاک شنی لومی و میانگین رطوبت وزنی ۱۰ درصد بر مبنای وزن خشک انجام شد. برای انجام آزمایش 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 و یک دستگاه گاو آهن برگردان دار سه خیش یک طرفه با عرض کار موثر یک متر استفاده گردید. در این مقاله اثر سامانه کنترل خودکار اتصال سه نقطه در دو سطح (۱- سامانه کنترل مکانیکی ۲- سامانه الکترونیکی درصد لغزش)، سرعت پیشروی در چهار سطح (۲/۵، ۳، ۴/۵، ۵/۵ کیلومتر در ساعت) و مقادیر تنظیمی کشش در سه سطح مختلف (کم (۱)- متوسط (۲) و زیاد (۳)) بر روی مصرف سوخت و درصد لغزش بررسی گردید.

منظور از مقادیر تنظیمی کشش در سامانه کنترل مکانیکی سه وضعیت تنظیمی اهرم کنترل کشش و در سامانه کنترل الکترونیکی درصد لغزش، سه سطح درصد لغزش می باشد. به منظور انتخاب سطوح مختلف مقادیر تنظیمی در سامانه های کنترل الکترونیکی، ابتدا آزمایش های مزرعه ای با سامانه کنترل مکانیکی در سه موقعیت مختلف اهرم کنترل کشش انجام شد. موقعیت های اهرم کنترل کشش در روی قطاع کوادرنانت علامت گذاری گردید. سپس با توجه به درصد لغزش مشاهده شده در آزمایش های مزرعه ای، سطوح درصد لغزش متوسط تنظیمی مربوط به موقعیت های تنظیمی اهرم کنترل کشش (سه عمق مختلف) به ترتیب ۱۰٪، ۱۵٪، ۲۵٪ در نظر گرفته شد. نحوه آزمایش ها به این صورت بود که در مدت زمان طی طول هر کرت آزمایشی، در هر ثانیه یک داده برای درصد لغزش و برای سوخت مصرفی یک داده ثبت گردید.

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

نتایج و بحث

درصد لغزش

تجزیه واریانس داده های درصد لغزش در سطوح مختلف نوع سامانه، سرعت پیشروی و مقادیر تنظیمی کشش در جدول ۲ نشان می دهد که اثرهای اصلی و اثر متقابل سامانه و مقادیر تنظیمی کشش تاثیر معنی داری بر میزان درصد لغزش در سطح احتمال ۱٪ دارند و لی سایر موارد معنی دار نیستند.

مقایسه میانگین درصد لغزش با آزمون LSD در سطح احتمال ۵٪ در شکل ۹ نشان می دهد که سامانه کنترل الکترونیکی درصد لغزش، در حداقل مقادیر تنظیمی کشش کمترین مقدار درصد لغزش و سامانه مکانیکی در حداکثر مقادیر تنظیمی کشش، بیشترین مقدار درصد لغزش را دارد و این دو میانگین اختلاف معنی داری در سطح احتمال ۵٪ دارند. بین میانگین های درصد لغزش در سامانه الکترونیکی در مقایسه با سامانه مکانیکی در تمامی مقادیر تنظیمی کشش مشابه کاهش معنی داری در سطح احتمال ۵٪ وجود دارد و این بیانگر این است که سامانه کنترل مکانیکی در کنترل درصد لغزش، در مقایسه با سامانه مکانیکی ضعیف عمل کرده است. چون در سامانه کنترل الکترونیکی نظارتی بر درصد لغزش چرخ های محرک وجود ندارد. این نتیجه با نتایج تحقیق کانسلور و ژنگ (۱۹۸۹) مشابهت دارد.

از شکل ۹ پیداست که با افزایش مقادیر تنظیمی کشش، صرف نظر از نوع سامانه کنترل، درصد لغزش افزایش یافته است ولی شیب افزایش در سامانه ها متفاوت است. با توجه به اینکه افزایش مقادیر تنظیمی کشش باعث می شود تا نیروی کشش لازم برای گاوآهن افزایش یابد، افزایش نیروی کشش باعث افزایش درصد لغزش چرخ های محرک می شود. لذا با افزایش مقادیر تنظیمی کشش، میزان درصد لغزش افزایش می یابد و این نتایج با نتایج دیگران در این زمینه مطابقت دارد [عباسپور (۱۳۸۴)، اسماعیل و همکاران (۱۹۸۱)]. لازم به ذکر است که سامانه الکترونیکی به دلیل داشتن حساسیت مناسب، به موقع به تغییرات درصد لغزش، عکس العمل نشان داده و باعث می شود تا درصد لغزش با افزایش مقادیر تنظیمی کشش، تغییرات قابل ملاحظه ای نداشته باشد.



شکل ۹. مقایسه میانگین درصد لغزش در تیمارهای مختلف سامانه و مقادیر تنظیمی کشش

جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس سامانه های کنترل

درجه آزادی	مهره ها	درصد لغزش	مصرفی (٪)
۲	۱/۴۴ ^{ns}	۰/۸۴ ^{ns}	تکرار
۱	۱۱۸/۴۱ ^{**}	۲۳۰/۸۶ ^{**}	سامانه
۳	۵/۸۱ ^{**}	۷۰/۹۷ ^{**}	سرعت
۲	۴۵/۵۸ ^{**}	۱۱۰/۷۱ ^{**}	مقادیر تنظیمی کشش
۳	۰/۸۵ ^{ns}	۵/۲۷ ^{**}	سامانه × سرعت
۲	۱۰/۵۷ ^{**}	۳۳/۵۸ ^{**}	سامانه × مقادیر تنظیمی کشش
۶	۱/۱۴ ^{ns}	۵/۹۷ ^{**}	سرعت × مقادیر تنظیمی کشش
۶	۰/۶۲ ^{ns}	۴/۰۶ ^{**}	سامانه × سرعت × مقادیر تنظیمی کشش
۹۴			خطای کل
	٪۲۵/۴۵	٪۹/۳۶	ضریب تغییرات

ns اثر معنی داری بر درصد لغزش ندارد.

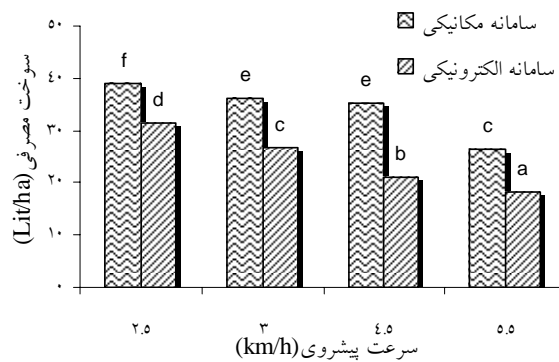
** اثر معنی داری بر درصد لغزش در سطح احتمال ۱٪ دارد.

سوخت مصرفی

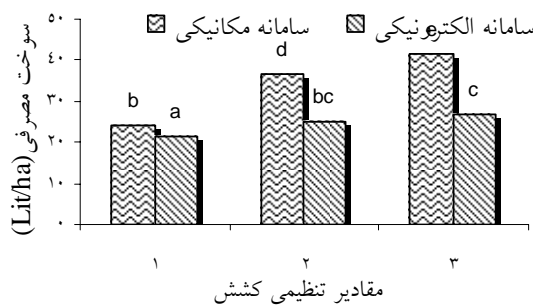
تجزیه واریانس داده های سوخت مصرفی در سطوح مختلف نوع سامانه، سرعت پیشروی و مقادیر تنظیمی کشش در جدول ۲ نشان می دهد که تمامی فاکتورها و اثر متقابل دوگانه و سه گانه آن ها تاثیر معنی داری بر میزان سوخت مصرفی در سطح احتمال ۱٪ دارند. مقایسه میانگین سوخت مصرفی در تیمارهای مختلف سامانه و سرعت با استفاده از آزمون LSD در سطح ۵٪ در شکل ۱۰ نشان می دهد که سامانه کنترل مکانیکی در حداقل سرعت پیشروی، بیشترین مقدار مصرف سوخت و سامانه کنترل الکترونیکی، در حداکثر سرعت پیشروی کمترین مقدار مصرف سوخت را دارند. همچنین از نمودار پیداست که با افزایش سرعت در هر سامانه کنترل، مقدار سوخت مصرفی کاهش یافته است. این نتایج با نتایج گزارش شده بوسیله دیگران مطابقت دارد (عباسپور، ۱۳۸۴ و نقوی، خوش تقاضا و مینایی، ۱۳۸۵). دلیل این تاثیر را می توان این گونه بیان کرد که با افزایش سرعت پیشروی تراکتور، تراکتور در مدت زمان کمتری واحد سطح مزرعه را طی می کند و از آنجا که دور موتور در هنگام شخم زنی توسط گاز دستی، ثابت نگه داشته می شود و افزایش یا کاهش سرعت پیشروی با تعویض دنده صورت می گیرد، در نتیجه مقدار سوخت مصرفی در واحد سطح کاهش می یابد. همچنین بین میانگین های این دو سامانه در تمامی سرعت ها اختلاف معنی دار در سطح ۵٪ وجود دارد و با استفاده از سامانه الکترونیکی به میزان ۲۰ درصد، ۲۶ درصد، ۴۰ درصد و ۳۲ درصد به ترتیب در سرعت های ۲/۵، ۳، ۵/۴ و ۵/۵ کیلومتر در ساعت در مصرف سوخت صرفه جویی

شده است. نتایج تحقیق کانسلور (۱۹۸۹) نیز نشان داد که مصرف سوخت در سامانه کنترل الکترونیکی درصد لغزش در مقایسه با سامانه کنترل مکانیکی (بدون کنترل الکترونیکی) به میزان قابل توجهی کاهش یافته است که موید نتیجه این تحقیق می باشد.

مقایسه میانگین سوخت مصرفی دو سامانه در مقادیر تنظیمی کشش با آزمون LSD در سطح ۰.۰۵٪ در شکل ۱۱ نشان می دهد که سامانه کنترل مکانیکی در حداکثر مقادیر تنظیمی کشش، بیشترین مقدار سوخت مصرفی و سامانه کنترل الکترونیکی درصد لغزش در حداقل مقادیر تنظیمی کشش، کمترین مقدار مصرف سوخت را داراست و بین این دو مقادیر اختلاف معنی داری در سطح ۰.۰۵٪ مشاهده می شود. بین مقادیر سوخت مصرفی دو سامانه در تمامی مقادیر تنظیمی کشش اختلاف معنی دار در سطح احتمال ۰.۰۵٪ وجود دارد طوری که سامانه الکترونیکی در مقایسه با سامانه مکانیکی مصرف سوخت را کاهش داده است. همچنین از شکل ۱۱ مشاهده می شود که با افزایش مقادیر تنظیمی کشش صرف نظر از نوع سامانه، میزان سوخت مصرفی افزایش یافته است. چون با افزایش مقادیر تنظیمی کشش نیروی کششی مورد نیاز گاوآهن افزایش و به تبع آن مقدار سوخت مصرفی نیز افزایش می یابد. Soltani & Loghavi (۲۰۰۸) گزارش کردند که با افزایش نیروی کششی، سوخت مصرفی افزایش می یابد. البته این روند افزایشی برای سامانه الکترونیکی کمتر و برای سامانه کنترل مکانیکی، بیشتر است.



شکل ۱۰. مقایسه میانگین سوخت مصرفی دو سامانه در سرعت های متفاوت



شکل ۱۱. مقایسه میانگین سوخت مصرفی دو سامانه در مقادیر تنظیمی کشش متفاوت

نتیجه گیری

- ۱- نتایج واسنجی نشان داد که حسگرهای سامانه اندازه گیری درصد لغزش دقت خوبی دارند. همچنین رابطه خطی با ضریب تبیین بالا بین مقادیر درصد لغزش اندازه گیری شده توسط سامانه و محاسبه شده با فرمول در سطح آسفالت وجود داشت و خطای اندازه گیری در مزرعه تقریباً ۲ درصد بود.
- ۲- میانگین های درصد لغزش در موقع بکارگیری سامانه الکترونیکی در تمامی مقادیر تنظیمی مشابه در مقایسه با سامانه مکانیکی کاهش معنی داری داشت و این امر به کاهش میانگین سوخت مصرفی سامانه الکترونیکی در تمامی مقادیر تنظیمی مشابه شد. استفاده از سامانه الکترونیکی به کاهش سوخت مصرفی در تمامی سرعت های مشابه در مقایسه با سامانه مکانیکی شد
- ۳- به دلیل قابل تنظیم بودن حساسیت بالاروی و پایین روی در سامانه الکترونیکی، سامانه به موقع در مقابل تغییرات شرایط خاک واکنش نشان داد و نیازی به دخالت راننده برای کنترل وسیله نبود. ولی در سامانه مکانیکی در بعضی موارد راننده مجبور دخالت کند.

منابع

1. Thansandote.A. Stuchly, S.S. Mladek, J. Townsend, J.S and Shlosser, J.S. 1977. A new slip monitor for traction equipment. Transactions of the ASAE, 18(5): 851-856.
2. Lyne.P.W and P. Meiring.1977. A wheel slip meter for traction studies. Trans of ASAE, 22(6): 238-242.
3. Nasrabadi, R. 1996. Design and construction of a slip meter system. M.Sc thesis, faculty of agriculture, Department of Agricultural Machinery Engineering, University of Tarbiat moddares (in Farsi).
4. Raheman. H, S.K. Jha. 2007. Wheel slip measurement in 2WD tractor. Journal of Terramechanics, 44(2007): 89-94.
5. Chancellor, W. & Zhang, N. 1989. Automatic Wheel-Slip Control for Tractors. *Transaction of the ASAE*, 32(1): 17-22.
6. 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.
7. 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.
8. Abbaspour-Gilandeh Y; Khalilian A; Alimardani R; Keyhani A R; 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).
9. 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).
10. 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).

Design, development and evaluation of electronic slip control system for MF 399 tractor

Abstract

An electronic slip control system was designed and installed on a MF399 tractor and its effect on wheel slip and fuel consumption was evaluated under field conditions and compared with that of mechanical draft control system on the same tractor. A rotary encoder was used to measure the ground speed and a proximity sensor to measure the theoretical forward speed for calculation of drive wheel slip. Output signals from the sensors were transmitted to a microcontroller which, after processing appropriate command signals has been sent to a stepper motor. Stepper motor was used to control the hydraulic pump.

Sensor calibration results showed that the measurement error of slip meter system was approximately 2 percent in field condition. Field experiments were conducted at four levels of speed and three draft set value levels in a sandy–loam soil with a randomized complete block design. Results of statistical analysis showed that mean slip value with the electronic control system was decreased 35, 43 and 49 percent at draft set values of 1, 2 and 3 respectively compared with the mechanical system. Wheel slip decrease in electronic control system caused reducing of fuel consumption at every draft set value. The results also showed that there was significant difference between fuel consumption of both systems at the all same speeds so that the fuel consumption of electronic system was low.

Key Words: Tractor, Sensor, Electronic slip control, Slip, Fuel consumption.