نهمین کنگره ملی مهندسی ماشین‌های کشاورزی
(مکانیک بیوسیستم) و مکانیزاسیون
پردیس کشاورزی و منابع‌طبیعی دانشگاه تهران
۲ و ۳ اردیبهشت ۱۳۹٤ - کرج

به کارگیری علوم کامپیوتر و الکترونیک در اندازه‌گیری و مدل‌سازی پارامترهای عملکرد تراکتور

سید مجتبی شفاعی[۱*]، محمد لغوی[۲] و سعادت کامگار[۳]

۱، ۲ و ۳- به‌ترتیب دانشجوی دکتری، استاد و استادیار بخش مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز. کد پستی: ٦٥١٨٦-٧١٤٤١

* پست الکترونیک نویسنده مسئول: smshafaei@shirazu.ac.ir

چکیده

تجهیز تراکتور به ابزارهای اندازه‌گیری به‌منظور پایش و ثبت تغییرات پارامترهای مطلوب عملکرد تراکتور در حین عملیات مزرعه‌ای، باعث افزایش بهره‌وری از تراکتور می‌گردد. در این مطالعه، پژوهش‌های انجام شده توسط محققین در چند دهه گذشته در زمینه تجهیز تراکتور به سامانه‌های اندازه‌گیری پارامترهای عملکرد تراکتور برای استفاده در کشاورزی دقیق بررسی شده است. برخی از پارامترهای اندازه‌گیری شده عبارتند از: درصد لغزش چرخ-های محرک، سرعت پیشروی، بار عمودی چرخ‌های محرک، مصرف سوخت و نیروی کشش مالبندی تراکتور. نتایج به‌کارگیری حسگرها، محرک‌ها و سامانه‌های پردازش اطلاعات بر اساس فن‌آوری‌های جدید (ابزار دقیق، مکاترونیک، کنترل و رباتیک) حاکی از افزایش سرعت و دقت در سنجش و جمع‌آوری لحظه‌ای پارامترهای عملکرد تراکتور می‌باشد. توسعه مدل‌های ریاضی و هوشمند در محیط‌های شبیه‌سازی عملکرد تراکتور در جهت پیش‌بینی پارامترهای مربوطه بر اساس مشاهدات تجربی توسط محققین توصیه شده است.

واژه‌های کلیدی: لغزش چرخ، سرعت پیشروی، مصرف سوخت، بازده کشش.

مقدمه

در جدیدترین تعریف از کشاورزی دقیق توسط محققین، به آن نوع از کشاورزی که در آن تعداد تصمیمات در واحد سطح مزرعه که ممکن است در واحد زمان هم افزایش یابد متغیر است، اشاره گردیده است (McBratney *et al.*, 2005). اجرای کشاورزی دقیق، با مزیت‌هایی همراه می‌باشد. این مزیت‌ها شامل افزایش کمیت یا کیفیت محصول، توام با حفظ محیط زیست و همراه با مصرف مقدار کمتری از نهاده‌ها می‌باشد.

در چارچوب تحقیقات انجام شده در کشاورزی دقیق، توجه زیادی به کاهش هزینه‌های کود و مواد شیمیایی مصرفی در کشاورزی، شامل علف‌کش‌ها و آفت‌کش‌ها شده است ولی به سایر عوامل که سهم به‌سزایی در هزینه‌های

تولید دارند، کمتر توجه شده است (Yule *et al.*, 1999).

با توجه به رشد و گسترش فن‌آوری در جهان معاصر، از یک طرف مدیریت اقتصاد انرژی اهمیت بیشتری پیدا کرده و از طرف دیگر به موازات پیشرفت صنعت پتروشیمی که استفاده از مشتقات نفت را در زندگی روزمره امروزی به دنبال داشته، روند تغییرات قیمت نفت که مهم‌ترین منبع تامین انرژی مورد نیاز صنایع کنونی می‌باشد را شاهد هستیم. اهمیت موضوع به حدی بوده است که تحقیقات پیرامون استفاده از منابع دیگر انرژی (هسته‌ای و خورشیدی) گسترش یافته و استفاده بهینه و موثر از انرژی در سامانه‌های مختلف از جمله سامانه‌های کشاورزی مورد استفاده قرار گرفته است.

در بخش کشاورزی به طور متوسط میزان انرژی مصرفی برای تولید محصولات زراعی از ۱۷/٤ گیگاژول در هکتار در سال ۱۹۷۵ تا ٤۷/٤ گیگاژول در هکتار در سال ۲۰۰۰ رسیده است (Ozkhan *et al.*, 2004)، که این مقدار برای کشور ایران رقمی در حدود۳۰-۲۵ گیگاژول در هکتار در سال ۲۰۰۸ گزارش گردیده است (Mohtasebi *et al.*,2008)، از طرفی مصرف سوخت‌های فسیلی عملیات ماشینی در تولید محصولات زراعی سهم بالایی از کل انرژی ورودی را به خود اختصاص می‌دهد و تراکتور نیز به عنوان اصلی‌ترین ماشین کشاورزی ۵۰-۳۵ درصد توان مزرعه را تامین می‌کند. لذا اعمال مدیریت صحیح انتخاب ماشین و حرکت در راستای کشاورزی دقیق موجب کاهش نهاده‌های مصرفی، انرژی و هزینه‌ها می‌گردد.

هزینه استفاده از ماشین‌های کشاورزی، ۳۵ تا ۵۰ درصد هزینه‌های ثابت را شامل می‌شود (Murphy, 1993). تراکتورها از منابع مهم قدرت در کشاورزی مکانیزه می‌باشند که بخش عمده‌ای از انرژی مصرفی در بخش کشاورزی را به خود اختصاص می‌دهند. اگرچه امروزه در سطح جهانی تراکتورها و ماشین‌هایی به بازار عرضه می‌شوند که بسیاری از پارامترهای عملکردی مربوط به‌خود را اندازه‌گیری و کنترل می‌کنند، اما به دلیل قیمت بالایی که دارند، بسیاری از کشاورزان توانایی خرید آن‌ها را ندارند (Khosravi *et al.*, 2012).

تعریف جامع و کاملی که به تراکتورهای امروزی اطلاق می‌شود این است که تراکتور ماشین خودگردانی است که قابلیت تولید سه توان مالبندی، دورانی و هیدرولیکی را دارد و تقریبا برای تمام کارهای کشاورزی به کار می‌رود. اما از میان این سه توان، توان مالبندی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. توان موتور زمانی می‌تواند به توان مالبندی تبدیل شود که چرخ‌ها ایجاد زمین گیرایی نمایند.

کار انجام شده توسط مالبند به وسیله دو پارامتر کشش و سرعت تراکتور مشخص می‌شود. بنابراین یک تراکتور ایده‌آل، تراکتوری است که تمام انرژی سوخت را به کار مفید در مالبند تبدیل کند. اما آن چه در عمل مشاهده می‌شود این است که اولا قسمت عمده‌ای از انرژی پتانسیل سوخت در فرآیند تبدیل انرژی شیمیایی به انرژی مکانیکی در موتور تلف می‌شود. که عمدتا ناشی از پایین بودن بازده حرارتی موتورها است. ثالثا قسمتی از انرژی مفید مکانیکی هم صرف درگیری چرخ با خاک می‌گردد که این میزان انرژی تلف شده لاستیک‌های تراکتور را فرسوده می‌کند و سبب فشردگی خاک می‌شود و تا حدی ممکن است صدمات و خسارات زیان‌آوری را هم به خاک‌های زراعی وارد آورد.

با توجه به این که در بخش کشاورزی تراکتور به عنوان اصلی‌ترین وسیله عملیات کشاورزی و مصرف کننده انرژی می‌باشد، افزایش عملکرد کششی یک تراکتور در مزرعه که می‌تواند در افزایش بازده تراکتور و صرفه‌جویی سوخت موثر باشد همواره مورد نظر بوده است.

بنا به اظهار نظر اکثر محققین، بازده کششی تراکتورها مهم‌ترین عامل در ارزیابی و تعیین عملکرد تراکتورها می‌باشد. بازده کششی به صورت درصدی از توان روی محور محرک تراکتور که به توان مالبندی تبدیل می‌گردد تعریف می‌شود که متاثر از ضریب کشش، مقاومت غلتشی و درصد لغزش چرخ‌های محرک تراکتور می‌باشد (Zoz and Grisso, 2003).

محققین افزایش بازده انرژی کل ترکیب تراکتور- ادوات و تطبیق درست تراکتور با ماشین‌های کشاورزی را از جمله راه‌های مؤثر در کاهش مصرف سوخت می‌دانند. طبق تعریف، بازده انرژی کل، نسبت انرژی منتقل شده از طرف تراکتور برای راه‌اندازی ادوات، به معادل انرژی سوخت مصرفی مورد نیاز برای انجام عملیات است (Alluvino *et al*., 2011; Serrano *et al*., 2007).

هماهنگی بین تراکتور و ادوات در مزرعه جهت بهینه‌کردن عملکرد متأثر از دقت راننده در به‌کارگیری آن دسته از عملگرها یا تصمیم‌گیری‌هایی است که در اختیار دارد. از جمله؛ دور موتور، دنده و سرعت مناسب و استفاده به موقع از قابلیت‌هایی همچون، قفل دیفرانسیل، دو یا چهار چرخ محرک، سنگین‌کننده‌ها و اهرم گاز دستی است. به عنوان نمونه استفاده از تکنیک یک درجه دنده را سبکتر کردن با گاز کمتر می‌تواند تا ۲۰ درصد موجب کاهش مصرف سوخت گردد (Gotoh *et al*., 2010) و یا در شرایط تک دیفرانسیل و سنگین کردن چرخ‌های محرک تراکتور مسی‌فرگوسن ۳۹۹ لغزش چرخ‌های محرک از ۵۹ درصد به ۳٤/٦ درصد و مصرف سوخت از ۳۱/۵ لیتر به ۲۷/٤ لیتر در هکتار کاهش یافته است (Soltani-Ghalehjoghi and Loghavi, 2007).

در شناخت، بررسی و بهبود عملکرد کششی تراکتور بایستی درک درستی از پارامترهای عملیاتی وجود داشته باشد. در این راستا تحقیقات فراوانی با شیوه‌های متنوع جهت اندازه‌گیری و محاسبه این پارامترها در خاک‌ها و ادوات مختلف برای رسیدن به بالاترین بازده انرژی کل و تحلیل تیمارهای گوناگون صورت گرفته است. اما متغیر بودن مشخصه‌های مکانیکی و فیزیکی یک خاک قابل کشت و عکس‌العمل‌های مختلف ماشین‌ها موجب می‌شود بازده عملکرد تراکتور مهم و پیچیده گردد. از طرفی اجرای عملیات مربوط به کشاورزی دقیق نیازمند این است که فاصله زمانی بین اندازه‌گیری پارامترهای عملیاتی فوق حتی‌الامکان کوتاه و در شرایط واقعی مزرعه باشد و این شرایط نیز مستلزم وجود سامانه‌ای دقیق با ضریب اطمینان بالا است تا بتواند همزمان با اجرای عملیات در مزرعه اندازه‌گیری‌ها را انجام و ثبت نماید (Kolator *et al*., 2011). به‌طوری که در روش‌های جدید مدیریت مزرعه، بر توسعه سامانه‌های اکتساب داده‌ها برای محاسبه پارامترهای عملکردی مزرعه بسیار تاکید شده است (Lackas *et al*., 1991).

مروری بر پژوهش‌های پیشین

پیشینه تجهیز تراکتور و ماشین‌های کشاورزی به حسگرهای اندازه‌گیری

در چند دهه گذشته، تجهیز تراکتورها به حسگرهای اندازه‌گیر عملکرد تراکتور و ماشین‌های کشاورزی توسط محققین زیادی انجام گرفته است (Grevis-James and Bloome, 1982; Tompkins and Wilhelm, 1982; Clark and Adsit, 1985; Alimardani et al., 1989; McLaughlin et al., 1993; Jafari et al., 2010; Kumar and Pandey, 2012; Rahmanian-Koushkaki et al., 2015). از جمله پارامترهای مورد اندازه‌گیری، کشش تراکتور، بار دینامیکی روی چرخ‌های محرک، سرعت پیشروی، سرعت نظری، دور موتور و مصرف سوخت می‌باشد که از هرکدام به تنهایی یا به همراه حسگرهای دیگر می‌توان در محاسبه عواملی نظیر توان مالبندی، بازده کشش، لغزش و مصرف ویژه سوخت تراکتور استفاده کرد (Osinenko et al., 2015).

اندازه‌گیری لغزش

اندازه‌گیری دقیق لغزش در شرایط کاری تراکتور در مزرعه، کار آسانی نیست. علی‌رغم وجود ابزارهای اندازه-گیری لغزش، بسیاری از تراکتورهایی که وارد بازار کشور می‌شوند و تمامی مدل‌های قدیمی موجود، فاقد سامانه‌ای برای اندازه‌گیری و نمایش لغزش هستند. بر این اساس در شرایط کاری تراکتور در مزرعه، لغزش اغلب به صورت دستی اندازه‌گیری و یا تخمین زده می‌شود که برای عملیات دقیق کشاورزی و امور تحقیقاتی مناسب نیست (Turner, 1993).

در حال حاضر بسیاری از تراکتورهای پیشرفته به سامانه اندازه‌گیر و نمایش مقدار لغزش چرخ‌های محرک مجهز می‌باشند و کاربر می‌تواند در صورت بالاتر بودن مقدار لغزش از حد مورد قبول، با کاهش عمق کار (کاهش مقاومت کششی) ادوات و در صورت کافی نبودن گشتاور محرک روی محور چرخ‌های محرک در دنده انتخاب شده با استفاده از دنده سنگین‌تر مقدار لغزش را به مقدار بهینه برساند.

تحقیقات زیادی در زمینه ساخت ابزار و وسایل اندازه‌گیری لغزش به‌صورت آنی توسط محققین انجام گرفته است (Chun and Sunwoo, 2004; Janulevicius and Giedra, 2009). اخیرا از تراکتورهای مجهز به ابزارهای اندازه‌گیر لغزش همراه با گیرنده سامانه مکان یاب جهانی برای تهیه نقشه‌های تغییرپذیری مکانی فراسنجه‌های عملکردی تراکتور و ادوات نیز استفاده شده است (Morgan and Ess, 1997; Yule *et al.*, 1999; Kheiralla and Yahya, 2001; Chosa *et al.*, 2007; Younis *et al.*, 2010; Pexa *et al.*, 2011; Ringdahl *et al.*, 2012).

پژوهشگران سامانه‌ای را بر پایه میکروکنترلر برای اندازه‌گیری لغزش تراکتورهای دو چرخ محرک طراحی کردند. اجزای این سامانه عبارتند از: منبع توان (باتری تراکتور)، حسگر موقعیت دریچه گاز، حسگر موقعیت دنده تراکتور، حسگر اندازه‌گیری دوران چرخ تراکتور، سامانه جمع‌آوری داده‌ها و نمایشگر. در این پژوهش از پتانسیومتر دورانی و حسگرهای مجاورتی به ترتیب برای اندازه‌گیری موقعیت دریچه گاز و میزان دوران چرخ‌ها استفاده گردید. سامانه مذکور در دو سطح کاری آسفالت و مزرعه مورد ارزیابی قرار گرفت. در هر دو مورد میزان پراکندگی و تغییرات بین

مقادیر واقعی و اندازه‌گیری شده بین ۰ تا ۵ درصد بود که نشان از دقت بالای سامانه طراحی شده بود (Raheman and Jha, 2006).

برخی از محققین به بررسی امکان اندازه‌گیری نرخ تغییرات شاخص مخروطی خاک بر پایه روابط تجربی پرداختند. مطابق روابط تجربی در صورت مشخص بودن میزان فرورفتگی و لغزش چرخ می‌توان نرخ شاخص مخروطی خاک را که شاخصی از مقاومت خاک است محاسبه نمود. بدین منظور از دو تراکتور برای اندازه‌گیری میزان نفوذ و فرورفتگی چرخ استفاده شد. آزمایش‌ها در دو نوع خاک با بافت‌های مختلف انجام گردیدند. برای اندازه‌گیری میزان لغزش، چرخ‌های محرک به انکودر چرخشی و برای اندازه‌گیری میزان نفوذ چرخ‌های جلو از دو حسگر لیزری که جلو و عقب یکی از چرخ‌های جلو قرار داشتند استفاده گردید. تفاضل ارتفاع ثبت شده توسط دو حسگر بیانگر میزان نفوذ چرخ‌ها می‌باشد. نتایج حاصل از آزمایش فوق حاکی از این بود که در صورت مشخص بودن فرورفتگی چرخ در خاک و میزان لغزش می‌توان نرخ تغییر شاخص مخروطی خاک را اندازه‌گیری کرد (Nam *et al.*, 2010).

محققین دیگری نمونه‌ای لغزش‌سنج دیجیتالی جهت اندازه‌گیری لغزش چرخ‌های تراکتورهای دو چرخ محرک طراحی و ساختند. سرعت‌های واقعی و تئوری تراکتور با استفاده از اندازه‌گیری سرعت دورانی چرخ‌های جلو و عقب تراکتور توسط انکودرهای دورانی بدست آمد. مدار الکترونیکی قابلیت نمایش سرعت واقعی پیشروی و میزان لغزش را بر روی صفحه نمایش خود دارد. لغزش‌سنج مذکور قابلیت نصب بر روی هر نمونه تراکتور دو چرخ محرک را دارا می‌باشد. این دستگاه هم در شرایط آزمایشگاهی و مزرعه‌ای مورد آزمایش قرار گرفت. میزان انحراف داده‌های واقعی از داده‌های تجربی ۲ درصد بود که نشان دهنده دقت بالای لغزش‌سنج طراحی شده می‌باشد(Pranav *et al.*, 2010).

اندازه‌گیری سرعت پیشروی

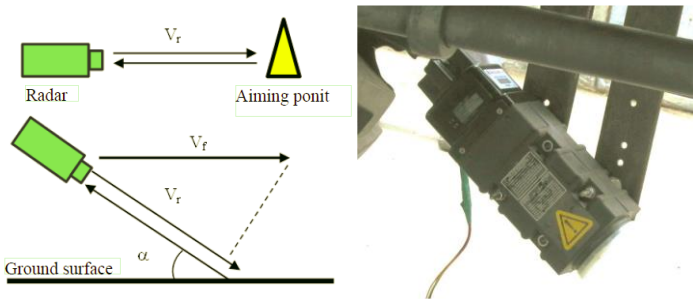
در خصوص سنجش سرعت پیش‌روی واقعی، روش‌های زیادی ابداع شده است اما همه آن‌ها از دقت کافی برخوردار نیستند (Pranav *et al.*, 2012). به علت لغزش (کاهش در حرکت) در چرخ‌های محرک تراکتور در حین عملیات کشاورزی در مزرعه از این چرخ‌ها برای اندازه‌گیری سرعت پیشروی واقعی نمی‌توان استفاده کرد. محققان سه روش مختلف اندازه‌گیری سرعت پیشروی واقعی تراکتور را مورد مقایسه قرار دادند. این سه روش عبارتند از: چرخ پنجم (Tompkins and Wilhelm, 1982)، چرخ غیرمحرک جلوی تراکتور (Khalilian *et al.*, 1989) و سرعت سنج‌های راداری و فراصوتی (شکل ۱) (Griffith *et al.*, 1988; Thomson and Shinners, 1989; Zhixiong *et al.*, 2013). مقایسه این سه روش بر روی سطوح مختلف خاک زراعی شامل سطح سفت و شخم نخورده، سطح شخم خورده و سطح دارای پوشش گیاهی انجام گردید. نتایج حاصل از این طرح تحقیقاتی به شرح زیر می‌باشد:

۱- در تمامی سطوح به جز سطح سفت و شخم نخورده چرخ غیرمحرک جلوی تراکتور در مقایسه با چرخ پنجم میزان لغزش کمتری نشان می‌دهد.

۲- سرعت‌سنج راداری با یک بار واسنجی در مقایسه با دو روش دیگر نتایج دقیق‌تری نشان می‌دهد.

۳- سرعت‌سنج راداری در سطح دارای بقایای گیاهی کارایی مناسبی ندارد (Thompkins *et al.*, 1988).

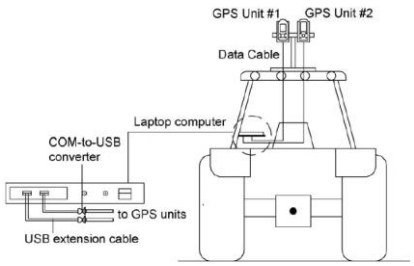
در پژوهشی مشابه که توسط سایر محققین انجام گردید، اشاره شد که سرعت‌سنج راداری به‌عنوان ابزار اندازه‌گیر سرعت پیشروی واقعی تراکتور قابلیت بسیار خوبی را از خود نشان داد ولی در یونجه‌زارها و زمین‌های دارای بقایای گیاهی کارایی مناسبی ندارد (Khalilian *et al.*, 1989).



شکل ۱- نحوه نصب و اصول کار سرعت سنج داپلر (Zhixiong *et al.*, 2013)

مطالعات قبلی نشان داده است که می‌توان برای اندازه‌گیری سرعت دورانی چرخ عقب تراکتور از یک شفت انکودر دیجیتال که روی محور آن یک چرخ لاستیکی کار گذاشته شود و به وسیله حاشیه داخلی چرخ عقب تراکتور بچرخد، استفاده نمود (Grevis-James, 1983).

محققین به بررسی امکان استفاده از گیرنده سامانه مکان یاب جهانی برای اندازه‌گیری سرعت پیشروی تراکتور پرداختند. ایشان دو مدل گیرنده سامانه مکان یاب جهانی را به فاصله ۰/۳ متر از یکدیگر بر روی سقف کابین یک دستگاه تراکتور چهار چرخ محرک نصب کردند. هر گیرنده دارای ۱۲ درگاه ارتباطی بود. داده‌های ارسالی توسط هر دو گیرنده توسط کابل سریال به رایانه انتقال می‌یافت. دو برنامه کامپیوتری توسط نرم افزار Q-Basic نوشته شد. برنامه اول داده‌های دو گیرنده را دریافت کرده و از طریق کابل سریال به رایانه ارسال کرده و در دو پوشه جداگانه ذخیره می‌کرد. برنامه دوم داده‌های برنامه اول را مورد پردازش قرار داده و سرعت پیشروی تراکتور را محاسبه می-کرد (شکل ۲). نتایج نشان از وجود ضریب همبستگی بسیار بالا بین میانگین سرعت حاصل از گیرنده‌های سامانه مکان یاب جهانی و میانگین سرعت محاسبه شده به روش معمول دارد. همچنین این گیرنده‌ها تغییرات سرعت را به خوبی نشان می‌دهند. گیرنده‌های سامانه مکان‌یاب جهانی می‌توانند برای تعیین مکان و همچنین سرعت ماشین‌ها و ادوات کشاورزی مورد استفاده قرار گیرند (Keskin and Say, 2006).



شکل۲- طرح‌واره تراکتور و دو گیرنده سامانه مکان یاب جهانی (Keskin and Say, 2006)

نتایج تحقیقی دیگر نشان داده است که، استفاده از گیرنده‌های مکان یاب جهانی، اگر چه از توانایی باالقوه‌ای در اندازه‌گیری سرعت واقعی تراکتور برخور دارند، ولی به دلیل هزینه نسبتاً بالا و محدودیت‌هایی که برای کشورهایی مثل ایران از طرف مسئولین این سامانه ایجاد می‌شود عموما دارای خطای زیادی است که برای این چنین کاربردی قابل قبول نبوده و حتی در برخی از شرایط غیرقابل استفاده است (Hemmat *et al.*, 2010).

همچنین حسگرهای راداری از دقتی متناسب با هزینه اولیه برخوردار نبوده و قادر به نشان دادن سرعت‌های کمتر از نیم کیلومتر بر ساعت نیز نمی‌باشند. این حسگرها به خصوص در زمین‌هایی که حاوی بقایای گیاهی بلندتر از ۳۵ سانتیمتر هستند و هنگام وزش باد، از خطای زیادی در اندازه‌گیری سرعت واقعی برخوردار هستند (Turner, 1993).

اندازه‌گیری مصرف سوخت

تحقیقات گسترده‌ای در رابطه با اندازه‌گیری مصرف سوخت تراکتور و سایر ماشین‌های کشاورزی توسط پژوهشگران انجام گریده است (McLaughlin *et al.*, 2008; Safa and Tabatabaeefar, 2008; Safa *et al.*, 2010).

مصرف سوخت دو نوع تراکتور متداول در ایران در حین شخم با گاوآهن‌های برگرداندار و قلمی در منطقه فارس توسط محققین اندازه‌گیری شده است (Masumi and Loghavi, 1994). همچنین سایر محققین در ایران، مصرف سوخت به هنگام اجرای عملیات خاکورزی توسط تعدادی از ادوات خاکورزی اولیه و ثانویه که در منطقه مرکزی ایران استفاده می‌شود را اندازه‌گیری و گزارش نمودند (Hemmat and Asadi-Khashoei, 1995).

پژوهشگران طراحی و ساخت سامانه اندازه‌گیری و ثبت مصرف سوخت تراکتور را انجام داده و آن را بر روی تراکتور جان دیر ۳۱٤۰ نصب کردند. در این پژوهش از دو حسگر دبی سنج سوخت استفاده شد. یکی از این دو حسگر در مسیر ورود سوخت به پمپ انژکتور و دیگری در مسیر برگشت سوخت اضافی به باک تراکتور نصب گردید. مدار الکترونیکی مورد استفاده در این سامانه می‌توانست پالس‌های دیجیتالی فرستاده شده توسط حسگرها را دریافت، ذخیره و به شکل لحظه‌ای نمایش دهد. همچنین برای اطمینان از دقت سامانه مورد نظر در شرایط عملیات در مزرعه و هنگام نصب بر تراکتور، علاوه بر شرایط آزمایشگاهی درصد خطای حسگرها هنگام عملیات مزرعه‌ای نیز اندازه‌گیری شد. نتایج پژوهش حاکی از آن بود که در دبی‌های مختلف بین میانگین مقادیر درصد خطا برای هر دو حسگر در شرایط آزمایشگاهی و مزرعه‌ای اختلاف معنی داری وجود ندارد (Fathollahzadeh *et al.*, 2011).

اندازه‌گیری ترکیبی پارامترهای عملکرد تراکتور و ادوات

مطالعات زیادی در زمینه اندازه‌گیری توان کششی مورد نیاز ابزار خاکورز و مصرف سوخت تراکتور در عملیات خاکورزی توسط محققین انجام شده است (Al-Janobi, 2000; Sahu and Raheman, 2006; Serrano *et al.*, 2003 and 2007; Janulevicius *et al.*, 2013; Adewoyin and Ajav, 2013).

محققین در ایران، به‌منظور اندازه‌گیری مقاومت کششی و توان مالبندی مورد نیاز ادوات سوار، به ساخت یک دینامومتر سه نقطه و چرخ پنجم سرعت سنج تراکتوری اقدام نمودند. نتایج ارزیابی سامانه ساخته شده توسط آن‌ها نشان داد که می‌توان از این ابزارها به منظور ثبت پیوسته مقاومت کششی و توان مالبندی تراکتور در عملیات مختلف کشاورزی استفاده نمود (Lotfi *et al.*, 2007).

همچنین در ایران، یک دستگاه تراکتور مسی‌فرگوسن مدل ۲۸۵ به حسگرهای اندازه‌گیر سرعت پیشروی، دور موتور و چرخ‌ها، مصرف سوخت تراکتور، مقاومت کششی ادوات متصل به آن به اضافه گیرنده سامانه مکان‌یاب جهانی تجهیز گردید (Hemmat *et al.*, 2010). هدف از این پژوهش اندازه‌گیری و ثبت پیوسته فراسنجه‌های عملکردی تراکتور و ادوات از طریق تجهیز تراکتور به حسگرهای اندازه‌گیر اشاره شده بود.

سایر محققین یک سامانه کامپیوتری با دقت بالا برای اندازه‌گیری پارامترهای عملکردی تراکتور و ادوات متصل به آن طراحی و ساختند و آن را روی تراکتور HMT 7122 به توان ۵۰ کیلو وات نصب کردند. ادوات متصل به تراکتور یک کارنده سوار ۹ ردیفه بود. پارامترهای اندازه‌گیری شده عبارت بودند از: نیروی مقاومت کششی ادوات متصل به تراکتور، سرعت پیشروی تراکتور، عمق کار ادوات متصل به تراکتور، میزان مصرف سوخت، میزان لغزش چرخ محرک تراکتور، دور موتور تراکتور و فشار سامانه هیدرولیک تراکتور. در این پژوهش مقاومت کششی ادوات به وسیله دو نیرو سنج که در بازوهای پایینی اتصال سه نقطه و یک نیرو سنج که در بازوی وسط اتصال سه نقطه قرار می‌گرفت اندازه‌گیری گردید. سرعت پیشروی تراکتور به وسیله حسگر داپلر، سرعت نظری چرخ‌های محرک به وسیله حسگر مجاورتی، عمق کار ادوات به وسیله حسگر لیزری، میزان مصرف سوخت به وسیله حسگر دبی‌سنج توربینی، دور موتور تراکتور به وسیله حسگر مجاورتی، فشار روغن هیدرولیک به وسیله حسگر فشار اندازه‌گیری گردید. خروجی حسگرهای فوق به دیتالاگر مدل CR3000 فرستاده شده و بر روی صفحه نمایش نشان داده می‌شد. نتایج حاصل از آزمایش‌ها نشان از دقت بالای حسگرها و سامانه جمع‌آوری داده دارد. سامانه فوق در مزرعه مورد آزمایش قرار گرفت و عملکرد آن عالی گزارش گردید (Singh and Singh, 2011).

محققین سامانه‌ای جهت اندازه‌گیری همزمان لغزش و سرعت پیشروی تراکتورهای دو چرخ محرک طراحی، ساخت و مورد ارزیابی قرار دادند. برای تعیین سرعت پیشروی واقعی و نظری تراکتور از چهار انکودر چرخشی برای اندازه‌گیری همزمان چرخش چرخ‌های جلو و عقب تراکتور استفاده گردید. برای تعیین لغزش و سرعت پیشروی برنامه‌ای در یک میکروکنترلر ATmega16PU با استفاده از خروجی انکودرها تدوین گردید، که قادر به نمایش دیجیتالی مقادیر اندازه‌گیری شده بود. میکروکنترلر به گونه‌ای برنامه‌ریزی شد که اثر سرش چرخ‌های جلوی تراکتور بر مقادیر اندازه‌گیری شده حذف شود. در مرحله ارزیابی لغزش و سرعت پیشروی اندازه‌گیری شده به‌وسیله سامانه با مقادیر محاسبه شده لغزش و سرعت پیشروی به روش متعارف، مقایسه گردیدند. نتایج ارزیابی سامانه نشان داد که متوسط بیشینه اختلاف بین مقادیر سرعت پیشروی و لغزش اندازه‌گیری شده توسط سامانه با مقادیر متناظر محاسبه شده به روش متعارف، در همه شرایط ارزیابی (بر آسفالت و در مزرعه) به ترتیب برابر با ۰/۲ و ۲/٤ درصد بود. سامانه با تغییرات اندک قابلیت کنترل لغزش در محدوده بیشینه بازده کشش و نصب بر روی انواع تراکتور دو چرخ محرک را دارا می‌باشد (Khosravi *et al.*, 2012).

در پژوهشی دیگر، محققین برای اندازه‌گیری دقیق و همزمان بازده انرژی کل تراکتور و سایر عوامل مؤثر بر آن، تراکتور مسی فرگوسن ۳۹۹ را به انواع حسگرها و واحد جمع‌آوری اطلاعات تجهیز نمودند. پارامترهای میزان مصرف سوخت، سرعت پیشروی، سرعت خطی و لغزش چرخ‌های محرک و سرش چرخ‌های متحرک تراکتور، دور

موتور، نیرو و توان کششی طی اجرای عملیات دیسک زنی، با سرعت داده برداری ۱۰۰۰ هرتز دخیره گردید. داده‌ها به صورت بی سیم تا برد ۱/۵ کیلومتر روی کامپیوتر کاربر نمایش و هم زمان ذخیره گردید. آن‌ها پس از تحلیل نتایج دریافتند که، سه پارامتر درصد لغزش، مصرف سوخت و توان کششی مورد نیاز تراکتور به عنوان اثر گذارترین پارامترها بر بازده انرژی کل ترکیب تراکتور- خاکورز است (Kazemi *et al.*, 2014).

به طور کلی در دهه‌های اخیر محققین دانشگاهی، یک سری از ابزار دقیق را به شیوه‌های مختلفی روی تراکتور نصب کرده‌اند که نظر به نوع و یا مدل حسگرهای به کار رفته به لحاظ سخت‌افزاری و همچنین نرم‌افزاری با یکدیگر متفاوت هستند (Alimardani et al., 1989; Wang and Zeorb, 1990; Lackas et al., 1991; Kheiralla and Yahya, 2001; Jinming *et al.*, 2010; Singh and Singh, 2011). بسیاری از این سامانه‌ها، سفارشی و گران‌قیمت بوده و ویژه یک تراکتور خاصی طراحی شده است و به آسانی سازگار با سایر تراکتورها نیست (Al-Suhabani *et al.*, 2010).

پیش‌بینی و مدل‌سازی پارامترهای عملکرد تراکتور

بررسی‌های انجام شده نشان می‌دهد که محققین متعددی در زمینه پیش‌بینی پارامترهای عملکرد تراکتور فعالیت نموده‌اند (Grisso *et al.*, 2004 and 2006; Kheiralla *et al.*, 2004; Sahay and Tewari, 2004; Catalan *et al.*, 2008; Pranav and Pandey, 2008; Mileusnic *et al.*, 2010; Safa and Samarasinghe, 2013; Iinden and Herman, 2014; Lacour *et al.*, 2014; Bietresato *et al.*, 2015).

محققین معادله عمومی تخمین بازده کشش تراکتور یونیورسال ٤٤٥ را با استفاده از تکنیک آنالیز ابعادی استخراج نمودند. در این تحقیق، به منظور مدل‌سازی بازده کشش تراکتور، نیروی مالبندی، نیروی مقاوت غلتشی چرخ‌های محرک، درصد لغزش چرخ‌های محرک، شاخص مخروطی خاک، سرعت نظری و عملی پیشروی و بار دینامیکی روی چرخ‌های محرک تراکتور اندازه‌گیری شدند (Fakhraei and Karparvarfard, 2006).

مدل‌سازی مصرف سوخت تراکتور بر پایه متغیرهای دور موتور، شرایط بارگذاری، نوع شاسی، وزن نهایی، توان مالبندی و توان چرخشی توسط پژوهشگران با استفاده از تکنیک شبکه عصبی مصنوعی و رگرسیون مرحله‌ای انجام گردید. نتایج مدل‌سازی حاکی از بالاتر بودن دقت شبکه عصبی مصنوعی در مقابل مدل رگرسیون مرحله‌ای گزارش گردید (Rahimi-Ajdadi and Abbaspour-Gilandeh, 2011).

اخیرا در تحقیقات انجام شده، رابطه‌ای کلی جهت پیش‌بینی مصرف سوخت تراکتور با استفاده از روش تحلیل ابعادی توسط محققین تعیین شده است. بدین منظور از یک تراکتور ITM-399 و یک گاوآهن قلمی ۹ شاخه سوار با پهنای تیغه ۵ و ۱۰ سانتیمتر استفاده گردیده است. عوامل موثر بر مصرف سوخت که در این پژوهش مورد توجه قرار گرفتند، عبارت بودند از: سرعت پیشروی، نسبت ظاهری تیغه، عدد چرخ، ضریب کشش خالص، لغزش و ضریب مقاومت غلتشی. نتایج حاصل از عملیات مزرعه‌ای جهت تعیین معادله عمومی مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت و در نهایت رابطه کلی جهت پیش‌بینی مصرف سوخت تراکتور ITM-399 به ترتیب برای تیغه‌های ۵ و ۱۰ سانتیمتری استخراج گردید (Karparvarfard and Rahmanian-Koushkaki, 2015).

بنا به اظهار بعضی از محققین تخمین پارامترهای عملکرد تراکتور در عملیات مختلف کشاورزی با استفاده از روابط نظری موجود دارای دقت قابل قبولی می‌باشد اما تک متغیره بودن کلیه روابط ارائه شده از نقاط ضعف آن‌ها می‌باشد (Zoz and Grisso, 2003). در پژوهشی دیگر کلیه روابط نظری ارائه شده در پژوهش‌های پیشین به‌منظور پیش‌بینی نیروی کشش تراکتور مورد ارزیابی قرار گرفت (Tiwari *et al.*, 2010).

همچنین محققین دیگری با استفاده از برنامه‌نویسی در محیط Visual C++ توانسته‌اند برنامه‌ای جهت پیش‌بینی عملکرد تراکتور بر اساس ترکیب متغیرهای ابعاد چرخ، بار استاتیکی چرخ و بازده انتقال انرژی تهیه نمایند (Al-Hamed and Al-Janobi, 2001). همچنین استفاده از نرم‌افزار Visual Basic در پیش‌بینی عملکرد مزرعه‌ای تراکتورهای دو چرخ محرک توسط محققین گزارش گردیده است (Kumar and Pandey, 2009).

نتیجه‌گیری

درک صحیح و مدل‌سازی مناسب پارامترهای عملکرد تراکتور، موضوع مورد علاقه محققین مختلفی در چند دهه گذشته بوده است. با توسعه علوم کامپیوتر و الکترونیک، استفاده از سامانه‌های مدیریت شده در پایش لحظه‌ای پارامترهای عملکرد تراکتور و ادوات کشاورزی به منظور استفاده در کشاورزی دقیق گسترش یافته است. مدل‌های توسعه یافته نه تنها به طراحان تراکتور در جهت بهینه‌سازی طراحی کمک می‌نماید بلکه باعث همیاری کاربران در تطابق وضعیت تراکتور با شرایط مزرعه می‌گردد. با توجه به گسترش مدل‌های چند متغیره در مقابل مدل‌های ریاضی یک متغیره، امروزه به کارگیری هوش مصنوعی در تخمین و مدل‌سازی پارامترهای مطلوب عملکرد تراکتور بر اساس مفروضات موجود توسط محققین مختلف برای تحقیقات آینده توصیه گشته است.

منابع و مآخذ

1- Adewoyin, A. O. and Ajav, E. A. 2013. Fuel consumption of some tractor models for ploughing operations in the sandy-loam soil of Nigeria at various speeds and ploughing depths. Agricultural Engineering International: CIGR Journal, 15(3): 67-74.
2- Alimardani, R., Colvin T. S. and Marley, S. J. 1989. Verification of the “TERMS” traction prediction model. Transactions of the ASABE, 32(3): 817-821.
3- Al-Janobi, A. 2000. A data-acquisition system to monitor performance of fully mounted implements. Journal of Agricultural Engineering Research, 75(2): 167-175.
4- Alluvione, F., Moretti, B., Sacco, D. and Grignani, C. 2011. EUE (energy use efficiency) of cropping systems for a sustainable agriculture. Energy, 36(7): 4468-4481.
5- Al-Hamed, S. A. and Al-Janobi, A. A. 2001. A program for predicting tractor performance in Visual C++. Computers and Electronics in Agriculture, 31(2): 137-149.
6- Al-Suhaibani, S. A., Al-Janobi, A. A. and Al-Majhadi, Y. N. 2010. Development and evaluation of tractors and tillage implements instrumentation system. American Journal of Engineering and Applied Sciences, 3(2): 363-371.
7- Bietresato, M., Calcante, A. and Mazzetto, F. 2015. A neural network approach for indirectly estimating farm tractors engine performances. Fuel, 143(1): 144-154.
8- Catalan, H., Linares, P. and Mendez, V. 2008. Tractor_PT: A traction prediction software for agricultural tractors. Computers and Electronics in Agriculture, 60(2): 289-295.

9- Chosa, T., Omine, M. and Itani, K. 2007. Dynamic performance of global positioning system velocity sensor for extremely accurate positioning. Biosystems Engineering, 97(1): 3-9.
10- Chun, K. and Sunwoo, M. 2004. Wheel slip control with moving sliding surface for traction control system. International Journal of Automotive Technology, 5(2): 123-133.
11- Clark, R. L. and Adsit, A. H. 1985. Microcomputer based instrumentation system to measure tractor field performance. Transactions of the ASABE, 30(2): 393-396.
12- Fakhraei, O. and Karparvarfard, S. H. 2006. Development of a general equation for estimation of tractive efficiency by dimensional analysis (in Farsi). Iranian Journal of Agriculture Science, 38(3): 447-457.
13- Fathollahzadeh, H., Mobli, H. Jafari, A., Mahdavinejad, D. and Tabatabaie, S. M. H. 2011. Design and calibration of a fuel consumption measurement system for a diesel tractor. Agricultural Engineering International: CIGR Journal, 13(2): 1-10.
14- Gotoh, T., Teshima, T., Sugiura, Y., Takahasi, H., Shimizu, K. and Seki, E. 2010. Reduction rates of fuel consumption by gear up and throttle down on an agricultural tractor. The Japan Agricultural Research Quarterly (JARQ), 44(4): 369-374.
15- Grevis-James, I. W. and Bloome, P. D. 1982. A tractor power monitor. Transactions of the ASABE, 25(3): 595-597.
16- Grevis-James, I. W., DeVoe, D. R., Bloome, P. D., Batchelder, D. G. and Lambert, B. W. 1983. Microcomputer-based data acquisition for tractor. Transactions of the ASABE, 26(3): 692-695.
17- Griffith, D. R., Zwilling, E. L., Wigger, W. D., Hummel, J. W. and Goering, C. E. 1988. Data collection system for tillage performance. Applied Engineering in Agriculture, 5(2): 133-137.
18- Grisso, R. D., Kocher, M. F. and Vaughan, D. H. 2004. Predicting tractor fuel consumption. Applied Engineering in Agriculture, 20(5): 553-561.
19- Grisso, R. D., Vaughan, D. H. and Roberson, G. T. 2006. Method for fuel prediction for specific tractor models, ASAE Paper No. 061089, ASAE, St. Joseph, Mich, 49085.
20- Hemmat, A. and Asadi-Khashoei, A. 1995. Fuel requirement and machine capacity for tillage and planting operations on a clay loam soil in Isfahan. Iran Agricultural Research, 14(2): 175-201.
21- Hemmat, A., Noori, M. and Akhavan-Sarraf, M. R. 2010. Equipping a Massey Ferguson tractor (MF-285) with sensors for measuring performance parameters of tractor and implements in precision agriculture (in Farsi). Iranian Journal of Biosystem Engineering, 40(2): 119-129.
22- Iinden, V. V. and Herman, L. 2014. A fuel consumption model for off-road use of mobile machinery in agriculture. Energy, 77(1): 880-889.
23- Jafari, M., Hemmat A. and Sadeghi, M. 2010. Development and performance assessment of a DC electric variable-rate controller for use on grain drills. Computers and Electronics in Agriculture, 73(1): 56-65.
24- Janulevicius, A. and Giedra, K. 2009. The slippage of the driving wheels of a tractor in a cultivated soil and stubble. Transport, 24(1): 14-20.
25- Janulevicius, A., Juostas, A. and Pupinis, G. 2013. Tractor's engine performance and emission characteristics in the process of ploughing. Energy Conversion and Management, 75(1):498-508.
26- Jinming, T., Chenglong, G. and Linhai, J. 2010. Design of test and control system of auto wheel speed sensor based on LABVIEW. Instrument Technique and Sensor, 6(1): 21-24.

27- Karparvarfard, S. H. and Rahmanian-Koushkaki, H. 2015. Development of a fuel consumption equation: test case for a tractor chisel-ploughing in a clay loam soil. Biosystems Engineering, 130(1): 23-33.
28- Kazemi, N., Almasi, M., Bahrami, H., Sheikh Davoodi, M. J. and Mesgar Bashi, M. 2014. Efficacy analysis of management major factors affecting on overall energy efficiency of tractor-implement by real-time performance monitoring. Journal of Agricultural Machinery, 4(2): 214-225.
29- Keskin, M. and Say, S. M. 2006. Feasibility of low-cost GPS receivers for ground speed measurement. Computers and Electronics in Agriculture, 54(1): 36-43.
30- Khalilian, A., Hale, S., Hood, C., Garner, T. and Dodd, R. 1989. Comparison of four ground speed measurement techniques. ASAE Paper No. 89-1040. St. Joseph, Mich., ASAE 16 pp.
31- Kheiralla, A. F. and Yahya, A. 2001. A tractor instrumentation and data acquisition system for power and energy demand mapping. Pertanika Journal of Science and Technology (JST), 9(1): 52-67.
32- Kheiralla, A. F., Yahya, A., Zohadie, M. and Ishak, M. 2004. Modelling of power and energy requirements for tillage implements operating in Serdang sandy clay loam, Malaysia. Soil and Tillage Research, 78(1): 21-34.
33- Khosravi, M., Abbaspoor-fard, M. H. and Aghkhani, M. H. 2012. Design, fabrication and evaluation of digital system for slip and forward velocity measurement of common 2WD tractors in Iran (in Farsi). Journal of Agricultural Machinery Engineering, 2(1): 1-10.
34- Kolator, B. and Bialobrzewiski. I. 2011. A simulation model of 2WD tractor performance. Computers and Electronics in Agriculture, 76(2): 231-239.
35- Kumar, A. and Pandey, K. P. 2012. A device to measure dynamic front wheel reaction to safeguard rearward overturning of agricultural tractors. Computers and Electronics in Agriculture, 87(1): 152-158.
36- Kumar, R. and Pandey, K. P. 2009. A program in Visual Basic for predicting haulage and field performance of 2WD tractors. Computers and Electronics in Agriculture, 67(1-2): 18-26.
37- Lackas, G. M., Grisso, R. D., Yasin, M. and Bashford, L. L. 1991. Portable data acquisition system for measuring energy requirements of soil-engaging implements. Computers and Electronics in Agriculture, 5(4): 285-296.
38- Lacour, S., Burgun, C., Perilhon, C., Descombes, G. and Doyen, V. 2014. A model to assess tractor operational efficiency from bench test data. Journal of Terramechanics, 54(1):1-18.
39- Lotfi, D., Hemmat, A. and Akhavan-Sarraf, M. R. 2007. Development and evaluation of a three-point hitch dynamometer and a fifth wheel for mounted implement draft and tractor speed measurements (in Farsi). Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources, 11(1): 147-163.
40- Masumi, A. A. and Loghavi, M. 1994. Evaluation and comparison of traction of two common tractors in Iran. Iran Agricultural Research, 13(2): 77-95.
41- McBratney, A., Whelan, B., Ancev, T. and Bouma, J. 2005. Future directions of precision agriculture. Precision Agriculture, 6(1): 7-23.
42- McLaughlin, N. B., Drury, C. F., Reynolds, W. D., Yang, X. M., Li, Y. X., Welacky, T. W. and Stewart, G. 2008. Energy inputs for conservation and conventional primary tillage implements in a clay loam soil. Transactions of the ASABE, 51(4): 1153-1163.

43- McLaughlin, N. B., Heslop, L. C., Bukley, D. J., Amour, G. R. St., Compton, B. A., Jones, A. M. and Van Bodegom, P. 1993. A general purpose tractor instrumentation and data logging system. Transactions of the ASABE, 36(2): 265-273.
44- Mileusnic, Z. I., Petrovic, D. V. and Devic, M. S. 2010. Comparison of tillage systems according to fuel consumption. Energy, 35(1): 221-228.
45- Mohtasebi, S. S., Behrozi-Lar, M., Safa, M. and Chaichi, M. R. 2008. Comparison of direct and indirect energy coefficients for seeding and fertilizing in irrigated wheat production. World Applied Sciences Journal, 3(3): 353-358.
46- Morgan, M. and Ess, D. 1997. The Precision-Farming Guide for Agriculturist. John Deere Publication.
47- Murphy, M. C. 1993. Report of Farming in the Eastern Agricultural Counties of England 1991:92. Economics Unit, Department of Land Economy, University of Cambridge, UK.
48- Nam, J. S., Park, Y. J. and Kim, K. U. 2010. Determination of rating cone index using wheel sinkage and slip. Journal of Terramechanics, 47(4): 243-248.
49- Osinenko, P. V., Geissler, M. and Herlitzius, T. 2015. A method of optimal traction control for farm tractors with feedback of drive torque. Biosystems Engineering, 129(1): 20-33.
50- Ozkhan, B., Akcaoz, H. and Cemal, F. 2004. Energy input-output analysis in Turkish agriculture. Renewable Energy, 29(1): 39-51.
51- Pexa, M., Cindr, M., Kubín, K. and Jurca1, V. 2011. Measurements of tractor power parameters using GPS. Research in Agricultural Engineering, 57(1): 1-7.
52- Pranav, P. K. and Pandey, K. P. 2008. Computer simulation of ballast management for agricultural tractors. Journal of Terramechanics, 45(6): 185-192.
53- Pranav, P. K., Pandey, K. P. and Tewari, V. K. 2010. Digital wheel slipmeter for agricultural 2WD tractors. Computers and Electronics in Agriculture, 73(2): 188-193.
54- 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. Computers and Electronics in Agriculture, 84(1):1-6.
55- Raheman, H. and Jha, S. K. 2007. Wheels slip measurement in 2WD Tractor. Journal of Terramechanics, 44(1): 89-94.
56- Rahimi-Ajdadi, F. and Abbaspour-Gilandeh, Y. 2011. Artificial neural network and stepwise multiple range regression methods for prediction of tractor fuel consumption. Measurement, 44(10): 2104-2111.
57- Ringdahl, O., Hellstrom, T., Wasterlund, I. and Lindroos, O. 2012. Estimating wheel slip for a forest machine using RTK-DGPS. Journal of Terramechanics, 49(5): 271-279.
58- Safa, M. and Tabatabaeefar A. 2008. Fuel consumption in wheat production in irrigated and dry land farming. World Journal of Agricultural Sciences, 4(1): 86-90.
59- Safa, M. and Samarasinghe, S. 2013. Modelling fuel consumption in wheat production using artificial neural networks. Energy, 49(1): 337-343.
60- Safa, M., Samarasinghe, S. and Mohssen, M. 2010. Determination of fuel consumption and indirect factors affecting it in wheat production in Canterbury, New Zealand. Energy, 35(12): 5400-5405.
61- Sahay, C. S. and Tewari, V. K. 2004. Computer simulation of tractor single-point drawbar performance. Biosystems Engineering, 88(4): 419-428.
62- Sahu, R. K. and Raheman, H. 2006. Draught prediction of agricultural implements using reference tillage tools in sandy clay loam doil. Biosystems Engineering, 94(2): 275-284.

63- Serrano, J. M., Peca, J. O., Pinheiro, A., Carvalho, M., Nunes, M., Ribeiro, L. and Santos, F. 2003. The effect of gang angle of offset disc harrows on soil tilt, work rate and fuel consumption. Biosystems Engineering, 84(2): 171-176.
64- Serrano, J. M., Peca, J. O., Silva, J. M. D., Pinheiro, A. and Carvalho, M. 2007. Tractor energy requirements in disc harrow systems. Biosystems Engineering, 98(3): 286-296.
65- Singh, C. D. and Singh, R. C. 2011. Computerized instrumentation system for monitoring the tractor performance in the field. Journal of Terramechanics, 48(5): 333-338.
66- Soltani-Ghalehjoghi, A. R. and Loghavi, M. 2007. The effects of axle load and draft force on tractive efficiency and fuel consumption of two high performance tractors during plowing with a semi-mounted 4-bottom moldboard plow (in Farsi). Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources, 11(40): 125-136.
67- Thompkins, F. D., Herd, W. E., Freelard, R. S., Wellerson, B. B. and Welhelm, L. R. 1988. Comparison of tractor ground speed measurement techniques. Transactions of the ASABE, 31(2): 369-374.
68- Thomson, N. P. and Shinners, K. J. 1989. Data collection system for tractor tillage performance. Applied Engineering in Agriculture, 5(2): 133-137.
69- Tiwari, V. K., Pandey, K. P. and Pranav, P. K. 2010. A review on traction prediction equations. Journal of Terramechanics, 47(3): 191-199.
70- Tompkins, F. D. and Wilhelm, L. R. 1982. Microcomputer-based tractor data acquisition system. Transactions of the ASABE, 25(6): 1540-1543.
71- Turner, P. E. 1993. Slip measurement using dual radar guns. ASAE, Paper No: 93-1031.
72- Wang, G. and Zoerb, G. C. 1990. A farm tractor driver's information system. Computers and Electronics in Agriculture, 4(3): 191-207.
73- Younis, S. M., Elashry, E. S. R., Bahnasy, A. F. and Elsybaee, I. M. 2010. Development a local system for measuring tractors performance. Misr Journal of Agricultural Engineering, 27(1): 34-53.
74- Yule, I. J., Kohnen, G. and Nowak, M. 1999. A tractor performance monitor with DGPS capability. Computers and Electronics in Agriculture, 23(2): 155-174.
75- Zhixiong, L., Xuefeng, B., Yiguan, L., Jiangxue, C. and Yang, L. 2013. Wheel slip measurement in 4WD tractor based on LABVIEW. International Journal of Automation and Control Engineering, 2(3): 113-119.
76- Zoz, F. M. and Grisso, R. D. 2003. Traction and tractor performance. ASAE Distinguished Lecture Number, 913C0403.

Application of computers and electronics in measuring and modeling of tractor performance parameters

Abstract
Equipping tractor with measurement tools in order to monitor and record desired tractor performance parameters in filed operation leads to efficiency improvement of tractor. In this paper, previous researches carried out with regard to equipping tractors with measurement systems to monitor tractor performance parameters needed Precision Agriculture, were reviewed. Some of the measured parameters are: drive wheel slippage percentage, forward velocity, vertical load on drive wheels, fuel consumption and drawbar pull of tractors. The results of application of sensors, actuators and information processing systems based on new technologies (instrumentation, mechatronics, controls and robotics) indicate the increasing of rate and accuracy of instantaneous measuring and collecting tractor performance parameters. Development of mathematical and intelligent models in tractor simulation medias, were proposed by the researchers in order to predict desired parameters according to empirical observations.
Keywords: Wheel slippage, Forward speed, Fuel consumption, Tractive efficiency.