

یادداشت پژوهشی

طراحی، ساخت و ارزیابی دینامومتر کششی بی‌سیم

ایمان احمدی^{۱*}

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۰۱/۱۵

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۰۴/۱۵

چکیده

اندازه‌گیری توان کششی مورد نیاز ادوات کشاورزی از نقطه نظر طراحی ماشین و انطباق آن با تراکتور برای متخصصین ماشین‌های کشاورزی حائز اهمیت است، بنابراین در این پژوهش به طراحی، ساخت و ارزیابی یک دینامومتر کششی تراکتوری اقدام شد که دارای قابلیت سنجش و ذخیره‌سازی مؤلفه افقی مقاومت کششی و سرعت پیشروی ادوات خاک‌ورزی بوده و در نتیجه قادر به محاسبه توان مورد نیاز برای کشش آن‌ها باشد. موضوع منحصر به‌فرد در طراحی این دینامومتر استفاده از ابزار کنترل‌کننده از راه دور برای صدور دستورات مدیریت داده‌برداری است. بر طبق نتایج این پژوهش معادله خط و ضریب تبیین مربوط به کالیبراسیون حسگر نیروسنج به ترتیب برابر با $y = 2.059x - 0.1$ و $R^2 = 0.999$ به دست آمد و معادله خط و ضریب تبیین مربوط به ارزیابی حسگر سرعت‌سنج به ترتیب برابر با $y = 1.001x + 0.065$ و $R^2 = 1$ محاسبه شد. از سوی دیگر بنابر نتایج آزمون مزرعه‌ای سامانه، مقاومت و توان کششی گاوآهن برگرداننده سه خیشه در حال کار در خاک لوم سیلتی رسی به ترتیب برابر با 14.3 kN و 18 hp اندازه‌گیری شد که با نتایج به دست آمده توسط سایر پژوهشگران همخوانی دارد. بنابراین می‌توان از دینامومتر توسعه‌یافته به منظور اندازه‌گیری توان کششی ادوات کشاورزی استفاده کرد.

واژه‌های کلیدی: توان کششی، دینامومتر، سرعت پیشروی، مقاومت کششی

مقدمه

مبدل نیرویی آن به ساختار ثابت ویژه‌ای متصل شده و قادر به سنجش مؤلفه افقی نیروی مقاومت کششی بود (Harrison and Reed, 1961). این نوع دینامومتر باعث تغییر هندسه ترکیب ماشین و مالیند تراکتور می‌شد، (ب) دینامومتری که دارای مبدل نیرویی یکپارچه با مالیند بود (Musonda and Bigsby, 1982). عدم تغییر هندسه بین مالیند تراکتور و ماشین حسن این دینامومتر بوده، اما عیب این دینامومتر عدم قابلیت جابه‌جایی آن از یک تراکتور به تراکتور دیگر بود، (ج) دینامومتری که پین متصل‌کننده مالیند تراکتور به مالیند ماشین در آن نقش مبدل نیرویی را برعهده داشت و بنابراین این نوع دینامومتر روی هر تراکتوری قابل نصب و استفاده بود (Zoerb et al., 1983). (د) دینامومتری که علاوه بر سنجش مؤلفه افقی مقاومت کششی ماشین، قادر به اندازه‌گیری مؤلفه عمودی این نیرو نیز بوده و در ساختمان آن از حلقه‌های طویل شده^۳ به‌عنوان واحد مبدل نیرو استفاده می‌شد. این نوع مبدل‌های نیرویی ER به سه دسته تقسیم می‌شوند: (۱) حلقه طویل شده ساده^۴ (Hoag and Yoerger, 1975)، (۲) حلقه هشت وجهی طویل شده^۵ (Godwin, 1975)، (۳)

اندازه‌گیری مقاومت کششی وارده از ادوات کشاورزی به تراکتور و محاسبه توان کششی مورد نیاز از نقطه نظر طراحی ماشین و انطباق آن با تراکتور برای متخصصین ماشین‌های کشاورزی حائز اهمیت است، بنابراین پژوهش‌ها مرتبط با این موضوع از دهه ۱۹۵۰ میلادی آغاز شده است که در ادامه به دوره برخی از آن‌ها پرداخته می‌شود. زورب و همکاران اظهار داشتند اولین دینامومترهای کششی از نوع فتری بوده که در شرایط کاری به دلیل نوسانات سریع عقربه این نوع دینامومتر، قرائت داده آن‌ها مشکل بود. در نتیجه گام بعد توسعه دینامومتر نوع هیدرولیکی بود که در آن فشار روغن ایجاد شده در مجموعه سیلندر و پیستون هیدرولیکی که بین تراکتور و ماشین قرار می‌گرفت توسط یک نمایشگر لوله‌بوردن^۲ خوانده می‌شد (Zoerb et al., 1983). از اوایل دهه ۱۹۶۰ میلادی توسعه دینامومتر کششی که در ساختار آن‌ها از کرنش‌سنج استفاده می‌شد، مورد توجه قرار گرفت که به‌طور کلی به چهار دسته تقسیم می‌شوند: الف) دینامومتری که

۱- استادیار گروه زراعت، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اصفهان (خوراسگان)

*- نویسنده مسئول: (Email: i_ahmadi_m@yahoo.com)

2-Bourdon

3- Extended rings (ER)

4- Plain extended ring (PER)

5- Extended octagonal ring (EOR)

سیگنال خروجی مبدل نیرو توسط سامانه جمع‌آوری داده دریافت و با فرکانس 1Hz در حافظه MMC سامانه که ظرفیت آن 2GB می‌باشد، به فرمت FAT 32 ذخیره‌سازی شد. اجزاء برد سامانه جمع‌آوری داده در شکل ۲ نشان داده شده‌است.

شایان ذکر است که در ساختمان برد الکترونیکی سامانه جمع‌آوری داده از دو ریزکنترلگر استفاده شد: AVR Atmega128 و AVR Atmega 16، به این دلیل که در صورت استفاده از یک ریزکنترلگر برای پردازش سیگنال‌های دریافتی، سامانه معایب زیر را خواهد داشت: ۱- سرعت کارکرد سامانه پایین خواهد آمد، ۲- احتمال نویزپذیری مبدل آنالوگ به دیجیتال (ADC) بسیار بالا می‌رود، ۳- در هر بار خاتمه وظیفه ثبت داده محوله به حافظه MMC، باید تمام تنظیمات مبدل ADC از نو صورت گیرد و به‌طور مشابه در هر بار خاتمه وظیفه تبدیل سیگنال آنالوگ به دیجیتال محوله به مبدل ADC، تنظیمات حافظه MMC باید از اول صورت گیرد، در حالی که با مجهز ساختن واحد پردازنده سیگنال به دو ریزکنترلگر با هزینه قابل قبول قیمت بالاتر و پیچیدگی نسبی طراحی مدار دوم می‌توان مرتفع شدن کامل معایب بالا را انتظار داشت. کدریزکنترلگر AVR Atmega 16 به زبان C و کد ریزکنترلگر AVR Atmega 128 به زبان Bascom نوشته شد و توسط پروگرامر STK 500 در آنها بارگذاری شد.

واسنجی سامانه ساخته شده

برای واسنجی حسگر نیروسنج، این حسگر بین بار اعمالی خارجی که مقدار آن معلوم بود و بازوی جرتقیل سقفی توسط کابل‌های فولادی قرار داده شد و بارهای ۱ تا ۵ تن (مگاگرم) به آن به دو صورت افزایشی و کاهشی اعمال گردید (شکل ۳-الف) و خروجی حسگر و واحد توزین‌کننده در هر بارگذاری ثبت شد (دلیل اعمال بار به دو صورت افزایشی و کاهشی این بود که از عدم وجود پدیده هیستریزیس در داده‌های برداشتی اطمینان حاصل شود. هیستریزیس به معنای بر هم منطبق نبودن منحنی‌های واسنجی در دو حالت بارگذاری (اعمال بار به صورت افزایشی) و باربرداری (اعمال بار به صورت کاهش) است). با رسم نمودار حاصل از زوج‌های مرتب {خروجی حسگر} و {خروجی واحد توزین} معادله رگرسیون بین این دو متغیر به دست آورده شد و در واسنجی سامانه از آن استفاده گردید.

روش ارزیابی بخش تعیین سرعت دینامومتر

پس از طراحی و ساخت بخش تعیین سرعت دینامومتر، آنتن GPS سامانه به سقف یک خودرو متصل شد و در یک خیابان که امکان ثابت نگه داشته شدن سرعت پیشروی خودرو فراهم بود، خودرو با سرعت‌های ثابتی به حرکت درآورده شد و مقدار این سرعت‌های ثابت توسط سرعت‌سنج خودرو خوانده و یادداشت شدند.

حلقه هشت وجهی طویل شده دوقلو^۱ (Godwin et al., 1993). در پژوهش انجام شده توسط Chen و همکاران، دینامومتر کششی نوع DEOR که جهت نصب آن عمودی بود مورد ساخت و ارزیابی قرار گرفت که با توجه به نتایج آزمایش‌های انجام شده با این دینامومتر در مقایسه با دینامومتر مشابه با جهت نصب افقی، انطباق بهتری بین کرنش احساس شده توسط واحد مبدل نیرو و مؤلفه‌های مقاومت کششی وارد از طرف ماشین به تراکتور حاصل شد (Chen et al., 2007).

در پژوهش حاضر به طراحی، ساخت و ارزیابی یک دینامومتر کششی تراکتوری اقدام شده است که دارای قابلیت سنجش و ذخیره‌سازی لحظه‌ای سرعت پیشروی و مؤلفه افقی مقاومت کششی وارد از طرف ادوات مالبندی چرخدار به تراکتور بوده و در نتیجه قادر به محاسبه توان مالبندی مورد نیاز برای کشش ماشین باشد. همچنین در صورت کاربرد روش RNAM^۲ (1983) از این وسیله می‌توان برای اندازه‌گیری مقاومت و توان کششی ادوات اتصال سه نقطه نیز استفاده کرد. علاوه بر اندازه‌گیری سرعت پیشروی تراکتور از طریق دریافت‌کننده GPS به جای استفاده از چرخ پنجم، موضوع منحصر به فرد دیگر در طراحی این دینامومتر استفاده از ابزار کنترل‌کننده از راه دور برای صدور دستورات مدیریت داده‌برداری مانند: شروع، پایان و توقف موقت داده‌برداری و صفر کردن زمان در فرآیند داده‌برداری بوده که باعث کاهش احتمال معیوب شدن دینامومتر در صورت پاره شدن زنجیر متصل‌کننده مالبند تراکتور کشنده به مالبند ماشین، یا سپر جلویی تراکتور کشیده شده (در صورت استفاده از روش RNAM) می‌شود.

مواد و روش‌ها

معرفی اجزاء تشکیل دهنده دینامومتر

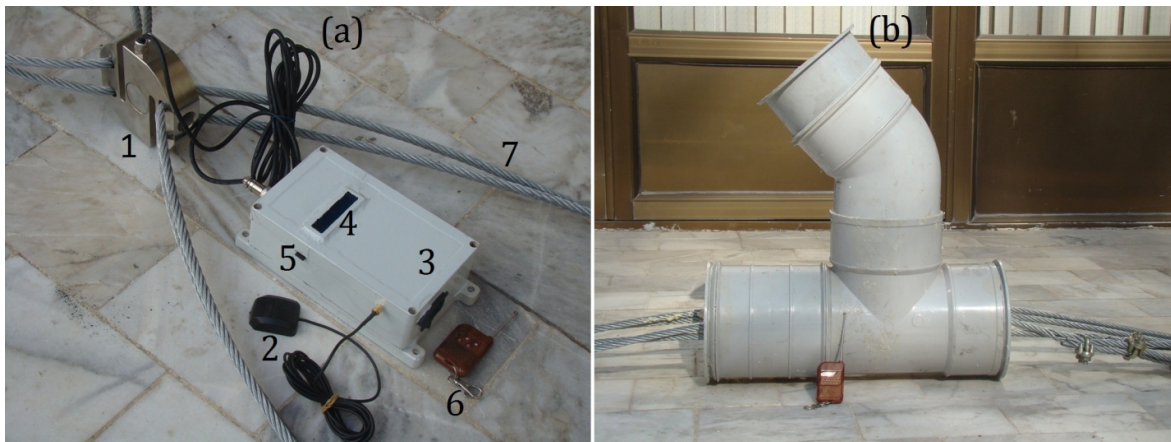
محاسبه توان کششی ادوات کشاورزی (P) همان‌طور که در رابطه (۱) آمده است، با اندازه‌گیری دو متغیر عملی می‌شود: مقاومت کششی ماشین (F) و سرعت پیشروی تراکتور کشنده ماشین (V).

$$P = F \times V \quad (1)$$

در این پژوهش برای اندازه‌گیری مقاومت کششی ماشین از یک مبدل نیرویی نوع کرنش‌سنج S (مدل SS 300) استفاده شده است (شکل ۱-الف) و اندازه‌گیری سرعت پیشروی تراکتور توسط حسگر دریافت‌کننده GPS (MicroGPS antenna AGM-10 + NEO-6-) (M-0-001 u-blox AG board) انجام شد.

مبدل نیرویی استفاده شده قادر به اندازه‌گیری نیروی کششی تا 50 kN به صورت دائمی و تحمل نیروی ضربه لحظه‌ای 75 kN است.

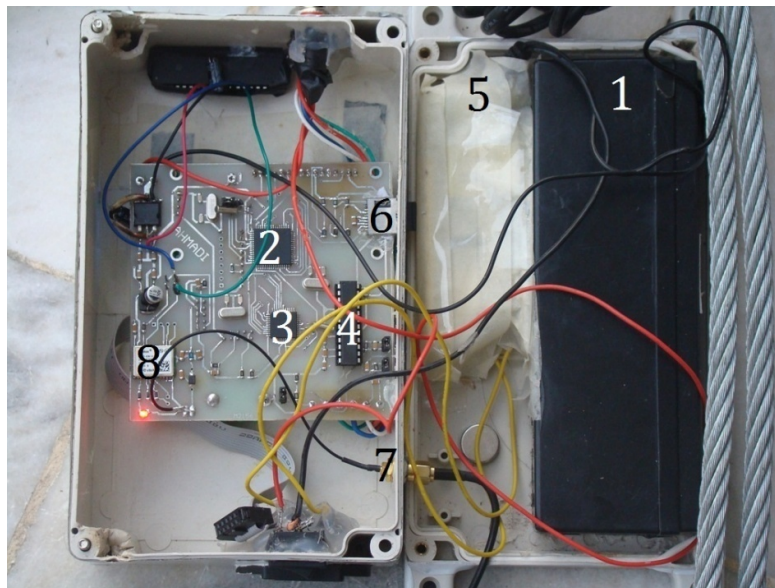
- 1- Double extended octagonal ring (DEOR)
- 2- Regional network for agricultural machinery



شکل ۱- (a) اجزاء به کار رفته در دینامومتر توسعه یافته (۱: لودسل نوع S، ۲: آنتن GPS، ۳: سامانه جمع‌آوری داده، ۴: نمایشگر، ۵: کارت حافظه، ۶:

کنترل کننده از راه دور، ۷: کابل‌های اتصال) (b) اجزاء جمع شده دینامومتر در لوله محافظتی دارای فوم

Fig.1.a) Utilized components in the developed dynamometer (1: S-type load cell, 2: GPS antenna, 3: Data acquisition system, 4: Display, 5: Memory card, 6: Remote controller, 7: Attaching cables) b) Dynamometer components compacted in a protecting duct, which contains cushioning material



شکل ۲- اجزاء برد الکترونیکی سامانه جمع‌آوری داده (۱: باتری، ۲: میکروکنترلر AVR Atmega 128، ۳: میکروکنترلر AVR Atmega 16، ۴:

مبدل آنالوگ به دیجیتال، ۵: شارژر باتری، ۶: محل قرارگیری کارت حافظه، ۷: محل اتصال آنتن GPS به برد، ۸: برد دریافت کننده GPS)

Fig. 2. Electronic board's components of the data acquisition system (1: Battery, 2: AVR Atmega 128 microcontroller, 3: AVR Atmega 16 microcontroller, 4: Analogue to digital converter, 5: Battery charger, 6: Memory card position, 7: GPS antenna connector, 8: GPS receiver board)

اندازه‌گیری شده بر حسب سرعت واقعی و برآزش بهترین معادله خط به زوج‌های مرتب به دست آمده و محاسبه مقدار ضریب تبیین (R^2) توسط نرم‌افزار اکسل، از مقدار این ضریب به‌عنوان پارامتر

به‌طور همزمان در هر یک از این سرعت‌های ثابت، سرعت اندازه‌گیری شده توسط سامانه تعیین سرعت دینامومتر، که از روی نمایشگر دستگاه قابل قرائت بود، ثبت گردید. با رسم نمودار سرعت

ارزیابی‌کننده واسنجی سامانه استفاده شد.

بالا قرار گرفته (که برابر با مقاومت غلتشی تراکتور کشیده شده است) می‌توان مقاومت کششی خالص گاوآهن را به دست آورد. شرایط خاک مزرعه و ویژگی‌های گاوآهن مورد استفاده در این پژوهش در جدول ۱ آورده شده است.

آزمون مزرعه‌ای دینامومتر

پس از واسنجی سامانه از آن برای اندازه‌گیری مقاومت و توان کششی گاوآهن برگرداندار به روش RNAM (شکل ۳-ب)، استفاده شد. سپس نتیجه به دست آمده با گزارشات حاصل از انجام آزمایشات در شرایط مشابه توسط دیگر پژوهشگران مقایسه گردید. همچنین مقایسه نتیجه به دست آمده در این پژوهش با نتیجه حاصل از به کارگیری استاندارد ASAE در پیش بینی مقاومت کششی ادوات خاک‌ورزی (ASAE D497.4 MAR99) صورت پذیرفت. لازم به ذکر است که در روش RNAM با محاسبه تفاضل مقاومت کششی اندازه‌گیری شده در حالتی که گاوآهن تراکتور دوم در خاک قرار دارد از مقاومت کششی اندازه‌گیری شده در حالتی که گاوآهن تراکتور دوم

نتایج و بحث

نتایج مربوط به واسنجی حسگرهای نیروسنج و سرعت‌سنج

نمودارهای مربوط به واسنجی حسگر نیروسنج دینامومتر توسعه یافته در این پژوهش در حالت‌های بارگذاری و باربرداری در شکل ۴ نشان داده شده است.

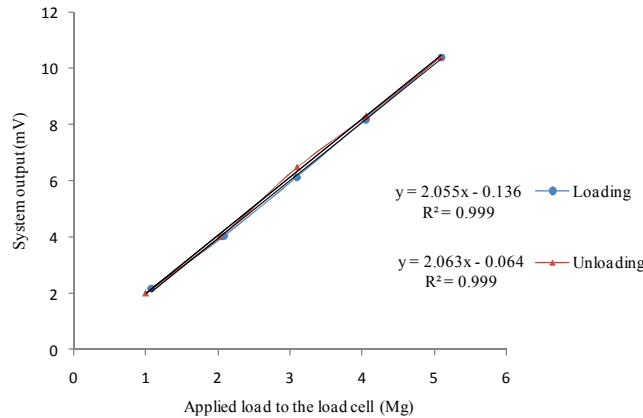


شکل ۳- (a) روش مورد استفاده در واسنجی نیروسنج سامانه (b) روش RNAM در اندازه‌گیری مقاومت کششی گاوآهن
 Fig. 3. a) Utilized method to calibrate the load measuring apparatus of the system b) the RNAM method to measure plow draft

جدول ۱- شرایط خاک و ویژگی‌های گاوآهن مورد استفاده در انجام آزمایشات مزرعه‌ای

Table 1- Soil conditions and plow specifications utilized to perform field tests

شرایط خاک مزرعه Soil condition	کلاس بافتی Textural class	درصد شن	درصد سیلت	درصد رس	پتانسیل هیدروژن	هدایت الکتریکی خاک	درصد مواد آلی خاک	بخش جامد خاک	درصد رطوبت خاک (%)
		Sand (%)	Silt (%)	Clay (%)	pH	EC (S mm ⁻¹)	Organic matter content (%)	(g cm ⁻³) Solid density (g cm ⁻³)	Soil moisture content (%)
	لوم رسی سیلینی Silty Clay loam	18	42	40	6.5	1	1.5	2.74	16
ویژگی‌های گاوآهن برگرداندار Moldboard plow specifications	تعداد خیش گاوآهن Number of plow bottoms	سرعت پیشروی (km h ⁻¹) Forward speed (km h ⁻¹)			عرض کاری (m) Plow working width (m)		عمق کاری گاوآهن (m) Plow depth (m)		
	3	3.5			1.1		0.25		



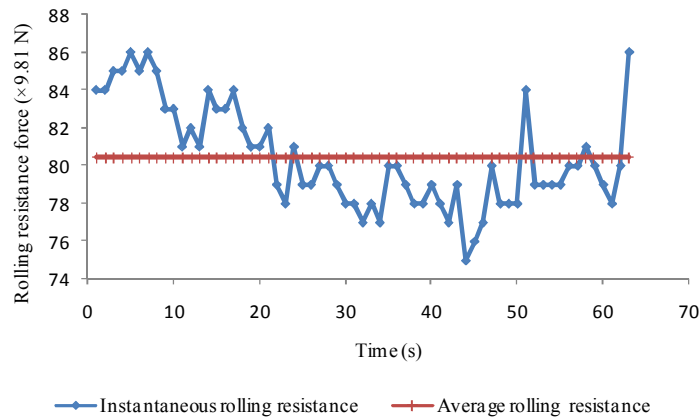
شکل ۴- معادلات خطوط واسنجی مربوط به لودسل دینامومتر در حالت‌های بارگذاری و باربرداری
Fig. 4. Calibration equations of the dynamometer load cell in the loading and unloading stages

درآورد.
 $y = 2.059x - 0.1$ (۲)
 $Y = \frac{(X+0.1)}{2.059}$ (۳)
 از سوی دیگر معادله خط و ضریب R^2 به‌دست آمده در ارزیابی بخش تعیین سرعت دینامومتر به‌ترتیب برابر با $y = 1.001x + 0.065$ و $R^2 = 1$ به‌دست آمد که بیانگر صحت کارکرد بخش تعیین سرعت دینامومتر می‌باشد.

نتایج مربوط به آزمون مزرعه‌ای

نمونه‌ای از نمودارهای نیروسنجی به‌دست آمده از دینامومتر مورد ارزیابی در این مقاله در اندازه‌گیری مقاومت غلتشی تراکتور در شکل ۵ آورده شده است.

همان‌طور که در شکل ۴ مشاهده می‌شود رابطه خطی با ضریب تبیین $R^2=0.999$ بین بار وارد به لودسل و خروجی سامانه به‌دست آمده است، همچنین انطباق قابل قبولی بین خطوط واسنجی مربوط به حالت‌های بارگذاری و باربرداری حاصل شده است. بنابراین معکوس معادله خطی که شیب و عرض از مبدأ آن به‌ترتیب متوسط شیب‌ها و عرض از مبدأهای معادلات به‌دست آمده از واسنجی لودسل می‌باشد یعنی معکوس رابطه (۲) که به‌صورت رابطه (۳) است، در کد میکروکنترلر مربوطه (AVR Atmega 128) مورد استفاده قرار گرفت تا خروجی سامانه به جای واحد ولتاژ الکتریکی (mV) برحسب واحد جرم مگاگرم (Mg) ذخیره‌سازی شود. در رابطه (۳)، متغیر X خروجی لودسل برحسب واحد mV و متغیر Y خروجی نیرویی سامانه قابل ذخیره‌سازی روی حافظه برحسب واحد Mg می‌باشد، که می‌توان از طریق تبدیل واحد، آن را برحسب واحدهای kN و kgf



شکل ۵- نمونه‌ای از نمودارهای لحظه‌ای و متوسط نیرو (مقاومت غلتشی تراکتور) بر حسب زمان به‌دست آمده از دینامومتر

Fig.5. An example of the instantaneous and average force (rolling resistance of tractor) versus time diagrams obtained from the developed dynamometer

متوسط (لومی) و سنگین (رسی) تعریف شده و مقدار مربوط به هر نوع بافت در استاندارد مذکور آورده شده‌است. بافت خاک مزرعه این پژوهش از نوع لوم رسی سیلتی^۱ بود که در زمره بافت متوسط قرار می‌گیرد و مقدار این پارامتر برابر 0.7 در نظر گرفته شد.

A و B و C بیانگر پارامترهای ماشین هستند که با مراجعه به استاندارد، مقادیر آن در سیستم بین‌المللی واحدها برای گاوآهن برگرداندار به ترتیب برابر با ۶۲۵، ۰ و ۵/۱ انتخاب شد.

S: سرعت پیشروی گاوآهن (km h^{-1})

W: عرض کاری ماشین (m)

T: عمق کاری گاوآهن (cm) می‌باشند.

شایان ذکر است که در این استاندارد بازه تغییرات مقاومت کششی برابر با $\pm 40\%$ به منظور لحاظ کردن تغییر در خصوصیات ماشین یا شرایط خاک از جمله تغییر در درصد رطوبت آن در نظر گرفته شده است.

مقایسه نتیجه آزمون مزرعه‌ای این پژوهش با نتایج پژوهش‌های انجام شده توسط سایرین (Askari and Khalifahamzehghasem, 2013; Ranjbar et al., 2013; Rashidi et al., 2013)، همچنین پیش‌بینی مقاومت کششی گاوآهن توسط استاندارد (ASAE D497.4 MAR99) در جدول ۲ آورده شده است.

دلیل اختلاف تقریباً ۳۷ درصدی بین نتایج به‌دست آمده در پژوهش‌های Rashidi et al., 2013 و Ranjbar et al., 2013 و نتیجه به‌دست آمده در پژوهش حاضر در این است که گاوآهن استفاده شده در توسعه مدل رگرسیون مربوط به مقاومت کششی گاوآهن در پژوهش‌های آن‌ها گاوآهن برگرداندار دو خیشه بوده است، اما گاوآهن استفاده شده در پژوهش حاضر گاوآهنی سه خیشه است. با ضرب عدد ۱/۵ در نتایج آزمون پژوهش‌های آن‌ها به اعداد ۱۳/۵ و ۱۳/۵۱۵ کیلونیوتن می‌رسیم که اختلاف آن با نتیجه پژوهش حاضر به ۵/۵ درصد کاهش می‌یابد. از سوی دیگر احتمالاً دلیل افزایش ۱۴ درصدی مقاومت کششی گاوآهن استفاده شده در پژوهش (Askari and Khalifahamzehghasem, 2013) نسبت به اعداد به‌دست آمده در پژوهش حاضر، در عین یکسان بودن شرایط بافتی خاک و ویژگی‌های گاوآهن‌های استفاده شده در این دو پژوهش مربوط به بیشتر بودن درصد رطوبت خاک مورد آزمون در این پژوهش (۱۶٪) در مقایسه با درصد رطوبت خاک مورد آزمون در پژوهش عسکری و خلیفه‌زاده‌قاسم (۲۶٪) می‌تواند باشد. در هر حال به طور کلی می‌توان اینطور جمع‌بندی کرد که نتایج به‌دست آمده در این پژوهش و سایر پژوهش‌های اشاره شده در این مقاله در بازه تغییرات ۴۰

همان‌طور که در شکل ۵ مشاهده می‌شود داده‌های نیروسنجی به‌دست آمده از دینامومتر دارای ساختاری متغیر حول مقدار متوسط است، بنابراین باید با روشی مقدار متوسط نیرو را محاسبه کرد. برای این کار حاصل تقسیم مساحت زیر منحنی نیروی لحظه‌ای بر حسب زمان بر زمان کل نمونه‌برداری، به‌عنوان متوسط نیرو در نظر گرفته شد. چون داده‌های دینامومتر به‌صورت دیجیتال و با فرکانس 1Hz ثبت می‌شدند (فاصله زمانی بین ثبت نمونه‌ها ۱ ثانیه بود)، رابطه مورد استفاده در محاسبه مقدار متوسط نیرو به‌صورت رابطه (۴) در نظر گرفته شد.

$$\bar{D} = \frac{\sum D_i \Delta T}{\sum \Delta T} = \frac{\sum D_i \times 1}{T} = \frac{\sum D_i}{T} \quad (4)$$

جایی که \bar{D} : متوسط نیرو ($\text{kgf} = 9.81 \text{ N}$)

D_i : مقدار نیروی لحظه‌ای در ثانیه am ($\text{kgf} = 9.81 \text{ N}$)

ΔT : فاصله زمانی بین ثبت نمونه‌ها که برابر با یک ثانیه بود.

T: زمان کل نمونه‌برداری (s)

با به‌کارگیری روش بالا، متوسط مقاومت غلته‌شی تراکتور کشیده شده برابر با 80.4 kgf که معادل 789 N می‌باشد، به‌دست آمد.

به‌منظور ارزیابی داده‌های مقاومت کششی به‌دست آمده در این پژوهش راجع به گاوآهن برگرداندار سه خیشه در حال کار در خاک لوم سیلتی رسی، مقایسه نتایج حاصله با نتایج سایر پژوهشگران و استاندارد ASAE صورت گرفت. رشیدی و همکاران رابطه رگرسیونی ۵ را برای پیش‌بینی مقاومت کششی گاوآهن برگرداندار دو خیش بر حسب درصد رطوبت، عمق شخم (cm) و سرعت پیشروی (km h^{-1}) ارائه دادند (Rashidi et al., 2013). همچنین رنجبر و همکاران رابطه رگرسیونی ۶ را برای پیش‌بینی مقاومت کششی گاوآهن برگرداندار دو خیش بر حسب عمق شخم (cm) و سرعت پیشروی (km h^{-1}) ارائه دادند (Ranjbar et al., 2013).

$$DF = 252.8 - 4.26 \times SMC + 0.76 \times TD^2 + 69.02 \times OS \quad (5)$$

$$DF = 160 + 0.76 \times TD^2 + 69.02 \times OS \quad (6)$$

که در آن DF: مقاومت کششی ($\text{kgf} = 9.81 \text{ N}$)

SMC: درصد رطوبت خاک (%)

TD: عمق شخم (cm)

OS: سرعت پیشروی (km h^{-1}) می‌باشد.

از سوی دیگر براساس استاندارد ASAE (ASAE D497.4 MAR99)، مقاومت کششی ادوات خاک‌ورزی و کاشت از طریق رابطه (۷) قابل پیش‌بینی است.

$$D = F_i [A + B(S) + C(S^2)] WT \quad (7)$$

که در آن D: مقاومت کششی (N)

F_i : پارامتر بیانگر بافت خاک که در سه سطح سبک (شنی)

1- Silty clay loam

2- System international d'unites (SI)

برگرداندار مورد مطالعه در این پژوهش و با توجه به این‌که سرعت پیشروی تراکتور برابر با $3/5 \text{ km h}^{-1}$ بود، توان کششی مورد نیاز برای کار با این گاوآهن برابر با $13/9 \text{ kW}$ یا 18 hp به‌دست آمد.

درصدی عدد $13/7$ کیلو نیوتن (مقدار مقاومت کششی گاوآهن برگرداندار پیش‌بینی شده توسط استاندارد ASAE) یعنی بازه $19/2$ ، $8/2 \text{ kN}$) قرار داشتند. با اندازه‌گیری مقاومت کششی گاوآهن

جدول ۲ - مقایسه نتایج به‌دست آمده از مقاومت کششی گاوآهن برگرداندار توسط پژوهشگران مختلف و مقدار پیش‌بینی شده توسط استاندارد ASAE با نتیجه آزمون مزرعه‌ای پژوهش حاضر

Table 2- Comparison of the obtained results from three different studies about moldboard plow draft and ASAE report in moldboard plow draft prediction versus the field results of the present study

نام پژوهشگر(ان) Researcher(s)'s name	عسکری و خلیفه حمزه قاسم، ۲۰۱۳ Askari and Khalifahamzehghasem, 2013	رشیدی و همکاران، ۲۰۱۳ Rashidiet al., 2013	رنجبر و همکاران، ۲۰۱۳ Ranjbar et al., 2013	استاندارد ASAE ASAE standard	پژوهش حاضر Present study
مقاومت کششی گاوآهن برگرداندار (kN) Moldboard plow draft (kN)	16.3	9.01	8.7	13.7±40%	14.3

نتیجه‌گیری

نتایج آزمون مزرعه‌ای سامانه، مقاومت و توان کششی گاوآهن برگرداندار سه خیشه در حال کار در خاک لوم سیلتی رسی با استفاده از روش RNAM، به‌ترتیب برابر $14/3 \text{ kN}$ و 18 hp اندازه‌گیری شد. با توجه به نتایج به‌دست آمده در این پژوهش می‌توان اظهار نظر کرد که با به‌کارگیری روش RNAM در اندازه‌گیری مقاومت کششی و استفاده از دینامومتر توسعه‌یافته در این پژوهش می‌توان مقاومت و توان کششی ادوات خاک‌ورزی را اندازه‌گیری کرد. از این نتایج می‌توان در تطابق ادوات خاک‌ورزی با منبع توان (تراکتور)، یا طراحی ادوات خاک‌ورزی جدید استفاده کرد.

به منظور اندازه‌گیری توان کششی مورد نیاز ادوات کشاورزی در این پژوهش به طراحی، ساخت و ارزیابی یک دینامومتر کششی تراکتوری اقدام شد که دارای قابلیت سنجش و ذخیره‌سازی مؤلفه افقی مقاومت کششی و سرعت پیشروی ادوات خاک‌ورزی می‌باشد. موضوع منحصر به‌فرد در طراحی این دینامومتر استفاده از ابزار کنترل‌کننده از راه دور برای صدور دستورات مدیریت داده‌برداری است. ضریب R^2 به‌دست آمده در واسنجی بخش اندازه‌گیری نیرو و سرعت پیشروی حاکی از صحت کارکرد سامانه بود، همچنین بنا بر

References

1. ASAE Standards 2000. D497, Agricultural machinery management data. ASAE: St. Joseph, MI.
2. Askari, M., and S. Khalifahamzehghasem. 2013. Draft force inputs for primary and secondary tillage implements in a clay loam soil. *World Applied Sciences Journal* 21 (12): 1789-1794.
3. Chen, Y., N. B. McLaughlin, and S. Tessier. 2007. Double extended octagonal ring (DEOR) drawbar dynamometer. *Soil and Tillage Research* 93: 462-471.
4. Godwin, R. J. 1975. An extended octagonal ring transducer for use in tillage studies. *Journal of Agricultural Engineering Research* 20: 347-352.
5. Godwin, R. J., A. J. Reynolds, M. J., O'Dogherty, and A. A. Al-Ghazal. 1993. A triaxial dynamometer for force and management measurement on tillage implements. *Journal of Agricultural Engineering Research* 55: 189-205.
6. Harrison, H. B., and W. B. Reed. 1961. The design and application of draft transducers using strain gauges. *Canadian Agricultural Engineering* 3 (1): 2-29.
7. Hoag, D. L., and R. R. Yoerger. 1975. Analysis and design of load rings. *Transactions of the ASAE* 19: 995-1000.
8. Musonda, N. G., and R. W. Bigsby. 1982. An integral drawbar dynamometer. Paper 82-302 presented at the annual meeting of Canadian Society of Agricultural Engineering, Vancouver, B.C.
9. Ranjbar, I., M. Rashidi, I. Najjarzadeh, A. Niazkhani, and M. Niyazadeh. 2013. Modeling of moldboard plow draft force based on tillage depth and operation speed. *Middle East Journal of Scientific Research* 17 (7): 891-897.
10. Rashidi, M., I. Najjarzadeh, S. T. Namin, F. Naserzaeim, S. H. Mirzaki, and M. Salimi Beni. 2013.

- Prediction of moldboard plow draft Force based on soil moisture content, tillage depth and operation speed. *American-Eurasian Journal of Agriculture and Environmental Science* 13 (8): 1057-1062.
11. Regional Network for Agricultural Machinery. 1983. RNAM test codes and procedures of farm machinery. Technical Series No. 12 (p. 129), Bangkok, Thailand.
 12. Zoerb, G. C., N. G. Musonda, and R. L. Kushwaha. 1983. A combined drawbar pin and force transducer. *Canadian Agricultural Engineering* 25: 157-161.

Brief Report

Design, fabrication, and evaluation of a wireless pull-type dynamometer

I. Ahmadi^{1*}

Received: 04-04-2015

Accepted: 06-07-2015

Introduction

Measurement of the draft force exerted from agricultural machineries to the tractor and the calculation of the implement power requirements is important for agriculturalists from machine design and tractor-machine matching viewpoints. Therefore, studies about this issue have been started from the 1950's. Zoerb *et al.* (1983) claimed that the first dynamometers have been made of spring and in reality, users had difficulties reading these dynamometers gauge due to the quick variations of the gauge pointer. Therefore the second stage was the development of the hydraulic-type dynamometers in which the oil pressure inside the hydraulic cylinder-piston set installed between machine and tractor that can be readable with a bourdon tube gauge was considered as its indicator. From the first years of the 1960's development of the strain-gauge pull-type dynamometers started.

In this study, design, fabrication and evaluation of a pull-type tractor dynamometer is considered that can be used to measure and store tractor forward velocity, and horizontal component of draft force exerted from wheel-type towed implements to the tractor. Therefore, drawbar power needed to pull the machine through the soil can be calculated. This dynamometer can also be utilized to measure three-point-hitch implement's draft force and power requirements in condition that the RNAM (1983) method was used. In addition to measure the tractor velocity with a GPS receiver instead of a fifth wheel, the other particular issue about this dynamometer is that a remote controller is used to order data acquisition commands such as starting, ending, pausing and time zeroing in the process of data gathering.

Materials and Methods

In this study an S-type strain gauge load cell (model: SS300) and a GPS receiver (model: Micro GPS antenna AGM-10 + NEO-6-M-0-001 ublox AG board) were utilized to measure the draft force and forward velocity, respectively. To calibrate the load cell sensor, in an iron material selling store, the load cell was placed between an external load with a known value and roof-type load lifter by steel cables, and external loads with the value of 1-5 ton applied to the load cell in ascending and descending orders. In each loading stage, the system and measuring apparatus outputs were booked. After drawing the x-y scatter chart of paired values (system output, measuring apparatus output), regression equation between these two variables were obtained that can be utilized to calibrate this part of the system. Above-mentioned method was used to calibrate the velocity measuring part of the dynamometer with a difference that real velocity was used instead of external load and velocity output was used instead of the load cell output. After performing the calibration of the system, the developed dynamometer was utilized to measure the draft force and power requirements of a three-point-hitch moldboard plow using the RNAM method. Finally, the obtained results were compared with the other researcher's results, and the ASAE prediction of the draft force of a moldboard plow.

Results and Discussion

According to the results of this study, the estimated equation and its coefficient of determination for the calibration of the load cell sensor were $y = 2.059x - 0.1$, and $R^2 = 0.999$ respectively, and the estimated equation and its coefficient of determination for the calibration of the velocity were $y = 1.001x + 0.065$, and $R^2 = 1$ respectively. Moreover, according to the results of the field tests, draft force and the power requirements of a three-bottom moldboard plow in a silty clay loam soil with the forward velocity of 3.5 km h^{-1} were measured to be 14.3 kN, and 18 hp, respectively, that were in agreement with other studies. Furthermore, the draft force results of this study, and other studies were in the range of $\pm 40\%$ of the 13.7 kN which is the moldboard plow draft prediction according to the ASAE standard.

1- Assistant Professor at Department of Agronomy, Isfahan (Khorasgan) Branch, Islamic Azad University, Isfahan, Iran
(* - Corresponding Author E-mail: i_ahmadi_m@yahoo.com)

Conclusions

This study suggests that with the aid of the RNAM method, and the developed dynamometer, the draft force and power requirements of the tillage implements can be calculated. These results can further be utilized to match the implements with the tractor or to design new tillage implements.

Keywords: Draft force, Dynamometer, Forward velocity, Implement power requirement