

طراحی، ساخت و ارزیابی گشتاورسنج دوار با قابلیت نمایش آنی گشتاور

افشین زینلی^۱ - عبدالعلی فرزاد^{۲*} - محمد حسین آق‌خانی^۳

تاریخ دریافت: ۹۱/۷/۱۸

تاریخ پذیرش: ۹۲/۲/۱۵

چکیده

گشتاور، سرعت و توان به‌عنوان متغیرهای مکانیکی، تابع عملکرد ماشین‌هایی که دوران دارند؛ می‌باشند. توانایی اندازه‌گیری این مقادیر در تعیین راندمان ماشین و همچنین کنترل آنی آن‌ها مؤثر است. در تحقیق حاضر یک سامانه‌ی گشتاورسنج دوار ساخته شد که با قرار دادن حس‌گرهای کرنش‌سنج، بر روی محور، میزان گشتاور را اندازه می‌گرفت. در این سامانه، بر اساس قاعده کلی مقاومت کرنش‌سنج‌ها، گشتاور به سیگنال‌های ولتاژ تبدیل می‌شد. سرانجام ماژول رادیویی، سیگنال‌های دیجیتال را به مدار گیرنده رادیویی برای نمایش و ذخیره ارسال می‌کرد. نتایج ارزیابی استاتیکی و آزمون دینامیکی نشان دهنده صحت انجام کار سامانه گشتاورسنج در شرایط استاتیکی و دینامیکی بود. همچنین، محدوده اندازه‌گیری گشتاور، قدرت تشخیص و میزان صحت به ترتیب ۳ تا ۷۰۰ نیوتن‌متر، ۳ نیوتن‌متر و ۱ درصد به‌دست آمد.

واژه‌های کلیدی: کرنش‌سنج، گشتاور، ماژول فرکانس رادیویی

مقدمه

به دستگاه قابل اندازه‌گیری است. از این طریق می‌توان میزان عملکرد محصول را در نقاط مختلف مزرعه اندازه گرفت و تأثیر عوامل مختلف بر آن را مورد بررسی قرار داد (Kumhala et al., 2007). بر اساس نحوه اندازه‌گیری گشتاور، گشتاورسنج‌ها به سه دسته جذبی^۴، محرک^۵ و انتقالی^۶ تقسیم می‌شوند. در نوع انتقالی، گشتاورسنج در بین تولیدکننده و مصرف‌کننده گشتاور قرار گرفته و گشتاور بدون هیچ هدر رفتی در گشتاورسنج، از تولیدکننده به مصرف‌کننده منتقل می‌شود (Brar and Bansal, 2004). این قابلیت گشتاورسنج‌های انتقالی، در اندازه‌گیری گشتاور مصرفی ادواتی که با محور توان‌دهی تراکتور کار می‌کنند کاربرد دارد. کرنش‌سنج‌ها از رایج‌ترین نوع حس‌گر برای اندازه‌گیری گشتاور می‌باشند. از مزایای آن‌ها می‌توان تغییرات کم در مقابل عوامل محیطی، دقت بالا، عکس‌العمل بالا، ارزان بودن و خطی بودن داده‌های به‌دست آمده در یک محدوده بزرگ از کرنش‌سنج را نام برد (Dally et al., 1993). در این روش، کرنش‌سنج‌ها بر روی محور در حال دوران نصب می‌شوند. برای تأمین ولتاژ تحریک این کرنش‌سنج‌ها و همچنین دریافت کمیت‌های خروجی، از حلقه

در دهه‌های اخیر، کشاورزی دقیق از اهداف کشورهای در حال توسعه می‌باشد. اجرایی کردن این مهم منوط به جمع‌آوری اطلاعات است. با پیشرفت علم الکترونیک در ابزارهای اندازه‌گیری، جمع‌آوری اطلاعات با دقت و صحت بیشتری صورت می‌گیرد. در کشاورزی اندازه‌گیری گشتاور مصرفی کاربردهای زیادی دارد. این اندازه‌گیری به‌طور معمول توسط گشتاورسنج‌ها صورت می‌گیرد. طراحی، همچنین بهبود عملکرد ادواتی که با محور توان‌دهی کار می‌کنند، مستلزم تعیین مقدار گشتاور مصرفی آن‌ها در شرایط مختلف کاری است. برای مثال در یک روتیواتور، شکل و تعداد تیغه بر روی گشتاور مصرفی آن مؤثر است. می‌توان با طراحی یا انتخاب تیغه متناسب با خاک، مقدار گشتاور مصرفی را کاهش داد و باعث افزایش بهره‌وری روتیواتور شد (Lee et al., 2003). در بعضی از موارد اندازه‌گیری گشتاور مصرفی به‌منظور تعیین جریان جرمی مواد مورد استفاده قرار می‌گیرد. در یک دروگر-ساقه‌ساز، با اندازه‌گیری مقدار گشتاوری که به محور توان‌دهی وارد می‌کند، میزان مواد تغذیه شده

۱، ۲ و ۳- به ترتیب دانشجوی کارشناسی ارشد و دانشیاران گروه مکانیک ماشین‌های کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد
* - نویسنده مسئول: (Email: a.farzad@ferdowsi.um.ac.ir)

4- Absorption dynamometers
5- Driving dynamometers
6- Transmission dynamometers

تقسیم کرد.

طراحی بخش مکانیکی

بخش مکانیکی شامل محور و قاب می‌باشد. آلیاژی که برای محور به منظور نصب کرنش‌سنج‌ها بر روی آن انتخاب شد، فولاد ۴۱۴۰ بود. این آلیاژ در محدوده‌ای از اعمال نیرو، خاصیت الاستیک خطی دارد و میزان خزش آن نیز کم است (Hannah and Reed, 1992). با بررسی گشتاور مصرفی چندین ادوات کشاورزی که با محور توان‌دهی کار می‌کنند بر اساس نوع ادوات و شرایط کاری، بیشترین و کمترین گشتاور مصرفی به ترتیب برابر با ۱۶۵۲ و ۴ نیوتن‌متر بود (Crolla and Chestney, 1972) که با در نظر گرفتن گشتاور مصرفی ۱۰۰۰ نیوتن در متر، قطر محور گشتاورسنج طوری طراحی شد که با اتصال ادوات به آن، در حین کار به محور آسیبی نرسد. قطر محور در محل نصب کرنش‌سنج‌ها ۲۵ میلی‌متر انتخاب شد.

طراحی بخش الکترونیکی

بخش الکترونیکی شامل واحد فرستنده و گیرنده می‌باشد. واحد فرستنده بر روی محور در حال دوران نصب شد و واحد گیرنده در بیرون از قاب گشتاورسنج قرار داشت. در واحد فرستنده، کرنش‌سنج‌ها توسط پل وتستون بر روی محور نصب شدند. سیگنال‌های خارج شده از پل به یک تقویت‌کننده می‌رفت و از آنجا توسط یک سیستم آنالوگ به دیجیتال پردازش می‌شد. توسط برنامه کامپیوتری نوشته شده در سیستم پردازش، گشتاور محاسبه و به یک سیستم بی سیم رادیویی^۱ برای ارسال داده‌ها فرستاده می‌شد (شکل ۱). یک گیرنده رادیویی داده‌ها را دریافت می‌کرد. یک نمایشگر مقدار گشتاور اندازه گرفته شده را به صورت لحظه‌ای نشان می‌داد و این مقدار بر روی یک کارت حافظه تحت فرمت text ذخیره می‌شد (شکل ۲).

کرنش‌سنج‌ها باید با توجه به حساسیت، محدوده اندازه‌گیری گشتاور و مورد کاربرد گشتاورسنج انتخاب شوند. بر این اساس کرنش‌سنج به کار گرفته شده FLA-3-11 ساخت شرکت TML ژاپن بود که در جدول ۱ مشخصات آن آورده شده است.

کرنش‌سنج‌ها توسط پل کامل به یکدیگر متصل شدند. از ویژگی‌های این پل می‌توان به خطی بودن خروجی پل، برطرف کننده تأثیر دمای محیط و تنش خمشی و محوری وارد شده به محور بر روی ولتاژ خروجی پل را نام برد. مقدار ولتاژ خارج شده از پل وتستون پایین بوده و نیاز به تقویت شدن و نویزگیری دارد. به همین لحاظ از تقویت‌کننده‌ها استفاده می‌شود.

لغزان‌ها^۱ استفاده می‌شود. از معایب استفاده حلقه لغزان‌ها، افزایش مقاومت در مقابل جریان در اثر کثیف شدن حلقه، افزایش نویز، عمر کم و هزینه بالا را می‌توان نام برد (Mo Yang et al., 2008). تحقیقات زیادی به منظور حذف حلقه لغزان‌ها صورت گرفته است. در طرح‌های اولیه حذف حلقه لغزان، با به کارگیری گلوله‌هایی که در اثر اعمال گشتاور از مکان مخروطی خود بیرون می‌آمدند، گشتاور اعمال شده به محور را به پوسته‌ای ثابت منتقل می‌کردند. کرنش‌سنج‌ها که بر روی پوسته نصب شده بودند، مقدار گشتاور اعمالی را اندازه می‌گرفتند (Mahmoud et al., 1972). با پیشرفت علم الکترونیک، محققان کمیت‌های خروجی کرنش‌سنج‌ها را توسط فرکانس رادیویی انتقال دادند. در این روش مقدار گشتاور اندازه‌گیری شده توسط کرنش‌سنج‌ها، از یک فرستنده رادیویی به یک گیرنده رادیویی منتقل می‌شد (Mo Yang et al., 2008). محقق دیگری به منظور حذف حلقه لغزان، یک مدار الکترونیکی که شامل یک کارت حافظه بود طراحی کرد. این مدار بر روی محور در حال دوران گشتاورسنج نصب می‌شد و مقدار گشتاور اندازه‌گیری شده توسط کرنش‌سنج‌ها را بر روی کارت حافظه ذخیره می‌کرد (Maharloeji et al., 2010). از معایب این روش عدم مشاهده گشتاور اندازه‌گیری شده به‌طور آبی بود. داده‌های ذخیره شده بر روی کارت حافظه با خاموش کردن دستگاه و بیرون آوردن کارت حافظه، در دسترس بودند.

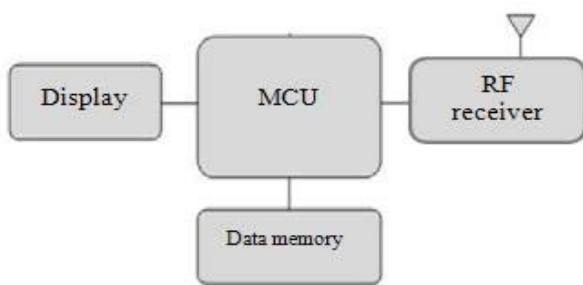
اندازه‌گیری لحظه‌ای گشتاور و نمایش آبی آن از اهمیت زیادی برخوردار است، اما تاکنون چنین دستگاهی در ایران ساخته نشده است. نمونه خارجی آن نیز گران می‌باشد. هدف از اجرای این تحقیق، طراحی، ساخت و ارزیابی گشتاورسنجی بود که بر روی مالیند تراکتور سوار شده و به راحتی و بدون تغییراتی هر چند اندک در ساختمان محور توان‌دهی تراکتور و محور ادوات کشاورزی که از محور توان‌دهی تراکتور استفاده می‌کنند، وصل شود. بدین طریق می‌توان علاوه بر کاهش هزینه‌ها، میزان گشتاور مصرفی ادوات را در شرایط مختلف کاری اندازه گرفت.

مواد و روش‌ها

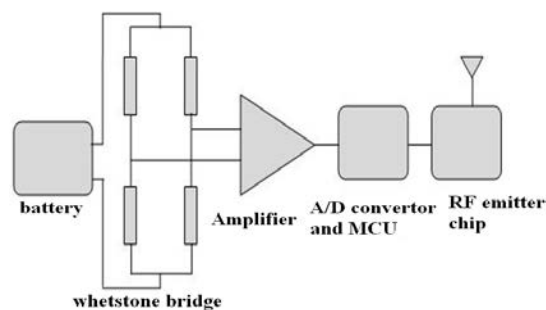
از بین روش‌های اندازه‌گیری گشتاور، به کارگیری کرنش‌سنج‌ها برای اندازه‌گیری گشتاور انتخاب شد. در گشتاورسنج‌هایی که بر اساس اندازه‌گیری کرنش طراحی شده‌اند، نصب کرنش‌سنج‌ها بر روی یک محور تحت زاویه ۴۵ درجه نسبت به مرکز محور می‌باشد. در این روش، کرنش‌های برشی که در نتیجه‌ی پیچش به وجود آمده‌اند اندازه گرفته می‌شوند. طراحی و ساخت گشتاورسنج ساخته شده در این تحقیق را می‌توان به دو بخش طراحی مکانیکی و طراحی الکترونیکی

2- RF (Radio Frequency)

1- Slip ring



شکل ۲- طرحواره واحد گیرنده
Fig.2. Schematic of Unit reserve



شکل ۱- طرحواره واحد فرستنده
Fig.1. Schematic of Unit transmission

جدول ۱- مشخصات کرنش سنج انتخاب شده

Table1- Selected strain gauge characteristics

طول گیج (میلی متر)	فاکتور گیج	مقاومت (اهم)	عرض گیج (میلی متر)
Gage length (mm)	Gauge factor	Resistance (Ω)	Grid width (mm)
3	2.10±1%	120±0.3	1.7

انتقال مقدار گشتاور از واحد فرستنده به گیرنده، از طریق ماژول فرکانس رادیویی صورت می‌گرفت. فرستنده رادیویی HM-T از سری ماژول FSK بود که به پایه ۳ میکروکنترلر TXD واقع در واحد فرستنده، متصل شد. کوچک بودن، مصرف کم باتری و ارسال داده تا فاصله ۲۵۰ متر، از ویژگی‌ها و دلایل انتخاب این فرستنده بود.

در واحد گیرنده، گیرنده رادیویی HM-R از سری ماژول FSK است که به پایه RXD میکروکنترلر واقع در واحد گیرنده متصل شده و مقدار گشتاور را دریافت می‌کرد. میکروکنترلر مقدار گشتاور را توسط نمایشگر نمایش، و توسط یک کارت حافظه ذخیره می‌کرد. نمایشگر مورد استفاده LCD 2×16 کارکتری بود و کارت حافظه MMC برای ذخیره اطلاعات مورد استفاده قرار گرفت. در این کارت مقدار گشتاور اندازه‌گیری شده در یک فایل با پسوند text ذخیره می‌شد.

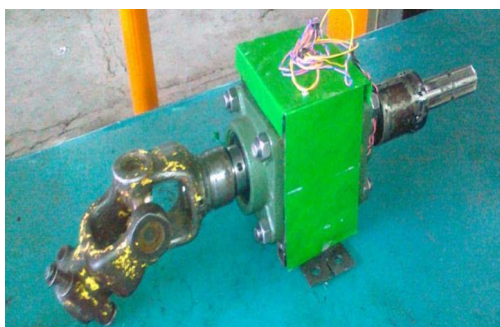
شکل ۳ و ۴ به ترتیب واحد گیرنده و فرستنده گشتاورسنج ساخته شده و شکل ۵ نیز ابعاد واحد فرستنده را از نمای روبه‌رو بر حسب میلی‌متر نشان می‌دهد.

ارزیابی دستگاه

در واحد پردازشگر مدار فرستنده (ATmega8)، برای تبدیل ولتاژ به گشتاور معادلی که به گشتاورسنج وارد می‌شود و همچنین به منظور حذف خطاهایی که در قسمت‌های مختلف وجود داشت، ارزیابی دستگاه صورت گرفت. آزمون به روش گشتاور استاتیکی، از روش‌هایی است که محققان به منظور ارزیابی گشتاورسنج به کار می‌گیرند (Desilva et al., 1987; Hilal and Haris, 2011).

تقویت کننده AD623 که یک تقویت کننده ابزار دقیق است، به عنوان تقویت کننده ولتاژ انتخاب شد. این تقویت کننده، در ابزارهای پزشکی، تقویت کننده ترموکوپل و حس گرها نیز کاربرد دارد. امیدانس ورودی بالا، نسبت حذف قسمت مشترک سیگنال (CMRR) بالا و همچنین نویز کم از ویژگی‌های این تقویت کننده است (Zorob, 2010). ولتاژ تغذیه تقویت کننده را ۵ ولت و با تغییر مقاومت بهره^۱ مطابق با کاتالوگ شرکت سازنده، میزان بهره آن ۱۰۰ انتخاب شد. بعد از تقویت ولتاژ خروجی پل، ولتاژ در واحد پردازشگر از آنالوگ به دیجیتال تبدیل شد. از میکروکنترلر ATmega8 با وضوح تبدیل ۱۰ بیت و میزان تبدیل ۶۵ تا ۲۶۰ میکروثانیه، بدین منظور استفاده گردید. خروجی تقویت کننده (پایه ۶) به پورت C0 میکروکنترلر که یک مبدل آنالوگ به دیجیتال است رفته و در آنجا ولتاژ با یک ولتاژ مرجع مقایسه می‌شد. خروجی مبدل آنالوگ به دیجیتال به صورت ولتاژ می‌باشد. این ولتاژ باید به گشتاور معادلی که به گشتاورسنج وارد شده تبدیل شود. با قرار دادن رابطه بین ولتاژ و گشتاور حاصل شده در مرحله ارزیابی در برنامه‌ای که برای میکروکنترلر نوشته شد، این تبدیل انجام گرفت. برنامه میکروکنترلر در نرم افزار بسکام^۲ ویرایش ۱.۱۱.۹.۰ نوشته شد و مدار الکترونیکی آن در نرم افزار پروتئوس^۳ ویرایش ۷ مورد شبیه سازی قرار گرفت. از آنجا که محور در حال دوران است و مدار فرستنده بر روی محور گشتاورسنج واقع شده،

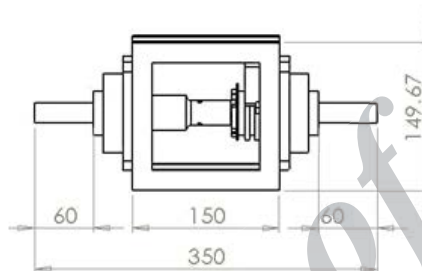
- 1- Gain
- 2- Bascom
- 3- Proteus



شکل ۴- واحد فرستنده گشتاورسنج
Fig.4. Unit transmission Torque meter



شکل ۳- واحد گیرنده گشتاورسنج، ۱- نمایشگر ۲- کارت حافظه
Fig.3. Unit reserve Torque meter, 1-Display 2-Memory card



Front view

شکل ۵- ابعاد واحد فرستنده گشتاورسنج (میلی‌متر)
Fig.5. Torque meter dimension (mm)

نتایج و بحث

بعد از طراحی و ساخت دستگاه، گشتاورسنج مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج حاصل از آزمون گشتاور استاتیکی، در نرم افزار اکسل ۲۰۰۷ وارد شد. رابطه بین ولتاژ خروجی دستگاه و گشتاور واقعی اعمالی در شکل ۷ نشان داده شده است. محور افقی میزان ولتاژ و محور عمودی گشتاور واقعی اعمالی را نشان می‌دهند. رابطه رگرسیون نمودار رسم شده در کنار آن آورده شده است که ضریب تبیینی برابر با ۰/۹۹ داشت. وجود خطا باعث می‌شود تا منحنی به‌طور کامل خطی نباشد. برخی از خطاهای ممکن شامل تلفات ولتاژ در مدار و صفر نبودن خروجی تقویت کننده، زمانی مشاهده می‌شود که هیچ گشتاوری به دستگاه اعمال نمی‌شود. با اعمال رابطه (۱) در واحد پردازشگر (میکروکنترلر) مدار فرستنده، علاوه بر کاهش خطاها، خروجی دستگاه از ولتاژ به گشتاور تبدیل می‌شود.

$$T = 2061V - 968 \quad (1)$$

که در آن T گشتاور بر حسب نیوتن‌متر و V ولتاژ بر حسب میلی‌ولت می‌باشد.

بدین منظور یک طرف محور گشتاورسنج به میله‌ای به طول ۱ متر متصل، و طرف دیگر محور ثابت نگه داشته شد. توسط قلاب و زنجیری که به انتهای میله آویزان بود و با قرار دادن وزنه‌های ۱۰ کیلویی روی قلاب، گشتاورهای با مقدار مشخص به گشتاورسنج اعمال شد. در هر بار اعمال وزنه، مقدار ولتاژ توسط نمایشگر نمایش داده می‌شد و بر روی کارت حافظه ثبت می‌گردید.

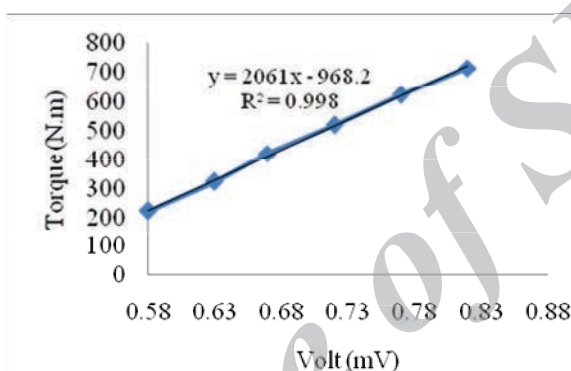
با قرار دادن رابطه گشتاور - ولتاژ حاصل شده از مرحله ارزیابی در واحد پردازشگر (میکروکنترلر) آزمون تکرار شد. آزمایش‌ها هم به صورت بارگذاری (اعمال وزنه به‌منظور اعمال گشتاور) و هم باربرداری (برداشتن وزنه‌ها) در سه تکرار صورت گرفت و در هر مرحله، نتایج ثبت شد.

به‌منظور اتصال راحت گشتاورسنج به تراکتور، سازه‌ای طراحی شد. گشتاورسنج توسط این سازه روی مالبند تراکتور قرار می‌گرفت (شکل ۶).



شکل ۶- اتصال گشتاورسنج به مالبند تراکتور

Fig.6. Connect the torque meter into the tractor drawbar



شکل ۷- رابطه بین ولتاژ خروجی گشتاورسنج با گشتاور واقعی اعمال شده

Fig.7. The relation between external voltage of torque meter and actual applied torque

دستگاه نسبت به محدوده الاستیک محور فولادی (۴۱۴۰) انتخاب شده، کوچک بود.

به منظور بررسی تکرارپذیری و توزیع نرمال داده‌ها در سه تکرار، مقادیر جدول ۲ محاسبه شد. در این جدول، مقدار میانگین، انحراف معیار و ضریب تغییرات گشتاور اندازه‌گیری شده با دستگاه، آورده شده است.

بعد از اعمال رابطه، آزمایش‌ها دوباره تکرار شد و مقدار گشتاور نمایش داده شده در نمایشگر با گشتاور واقعی اعمال شده، مقایسه شد. نتایج آزمایش‌های بارگذاری و باربرداری یکسان بود. این بدین معنی است که شیب نمودار گشتاور واقعی - گشتاور اندازه‌گیری شده توسط دستگاه در هر دو حالت بارگذاری و باربرداری با هم برابر بودند. احتمالاً علت این امر آن است که محدوده اندازه‌گیری گشتاور توسط

جدول ۲- مقدار میانگین، انحراف معیار و ضریب تغییرات گشتاور اندازه‌گیری شده

Table2- Mean Value, standard deviation and coefficient of variations measured torque

ضریب تغییرات (%) Coefficient of variation (%)	انحراف معیار Deviation Std	میانگین گشتاور (نیوتن متر) Mean torque (Nm)	تعداد تکرار Repeat No.	متغیر (نیوتن متر) Variable (Nm)
0.45	1.5	228.5	3	10
0.42	1.4	330.2	3	20
0.27	1.13	413.96	3	30
0.19	1.01	517.7	3	40
0.15	0.96	619.8	3	50
0.17	1.25	719.26	3	60

نتیجه‌گیری

در این تحقیق یک گشتاورسنج دوار طراحی، ساخته شد و مورد ارزیابی قرار گرفت. از کرنش‌سنج‌ها به‌منظور اندازه‌گیری گشتاور و از یک ماژول فرستنده و گیرنده رادیویی به‌جای حلقه لغزان‌ها استفاده شد. توسط یک نمایشگر، مقدار گشتاور اندازه‌گیری شده، نمایش داده شد و در یک کارت حافظه که بر روی واحد گیرنده سوار شده بود ذخیره می‌شد.

دستگاه تحت آزمون استاتیکی مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج و تحلیل آن‌ها نشان داد که گشتاورسنج ساخته شده می‌تواند به‌عنوان دستگاه اندازه‌گیری گشتاور به‌کار رود. همچنین محدوده اندازه‌گیری دستگاه ۳ تا ۷۰۰ نیوتن‌متر، قدرت تشخیص ۳ نیوتن‌متر، سرعت پاسخ ۱ ثانیه و میزان صحت دستگاه ۱ درصد به‌دست آمد.

از آنجا که ضریب تغییرات در اکثر تیمارها ناچیز است (توزیع نرمال داده‌ها در سطح ۹۵٪ نرمال بود)، لذا در تکرارهای مختلف، پراکندگی در داده‌های تیمارها وجود ندارد، که این خود نشان دهنده تکرارپذیری دستگاه می‌باشد.

مشخصات گشتاورسنج ساخته شده با توجه به آزمایش‌ها و همچنین نوع قطعات و روابط موجود بین آن‌ها به‌دست آمد. محدوده اندازه‌گیری دستگاه ۳ تا ۷۰۰ نیوتن‌متر، قدرت تشخیص ۳ نیوتن‌متر، سرعت پاسخ (سرعتی که دستگاه اندازه‌گیری نسبت به تغییر در ورودی از خود عکس‌العمل نشان می‌دهد) ۱ ثانیه و میزان صحت دستگاه ۱ درصد بود.

منابع

1. Brar, J. S., and R. K. Bansal. 2004. A Text Book of Theory of Machines. For Degree, U. P. S. C. (Engg. Services), A.M.I.E, India.
2. Crolla, D. A., and A. A. W. Chestney. 1979. Field measurements of driveline torques imposed on p.t.o. driven machinery. *Agricultural Engineering Research* 24: 157-181.
3. Dally, J. W., W. F. Riley, and K. G. McConnell. 1984. *Instrumentation for engineering measurements*. Wiley.
4. Desilva, C. W., T. E. Price, and T. Kanade. 1987. Torque sensor for direct-drive manipulators. *Engineering for Industry* 109: 122-127.
5. Hannah, R. L., and S. E. Reed. 1992. *Strain Gage Users' Handbook*. Springer, London.
6. Hilal Muftah, M., and S. Mohamed Haris. 2011. A strain gauge based system for measuring dynamic loading on a rotating shaft. *International Journal of Mechanics* 5: 19-26.
7. Kumhala, F., M. Kroulik, and V. Prosek. 2007. Development and evaluation of forage yield measure sensors in a mowing-conditioning machine. *Computers and Electronics in Agriculture* 58: 154-163.
8. Lee, K. S., S. H. Park, W. Y. Park, and C. S. Lee. 2003. Strip tillage characteristics of rotary tiller blades for use in a dryland direct rice seeder. *Soil and Tillage Research* 71: 25-32.
9. Maharloei, M. M., M. Loghavi, and S. Kamkar. 2010. Investigate the possibility of using a torque with strain gauges to measure the instantaneous mass flow indirectly corn forage crusher machine (chopper). 6th Agriculture Machinery Engineering and Mechanization National Conf., Univ. of Tehran. (In Farsi).
10. Mahmoud, A. R., W. F. Buchele, and J. F. Andrew. 1972. A strain-gauge, brushless torque meter. *Agricultural Engineering Research* 17: 231-235.
11. Mo Yang Mo, Y., A. Changsheng, and M. Yuzhen. 2008. The dynamic torque measure system based on RF technology. *CORD Conference Proceedings*: 1787-1790.
12. Zorob, A. A. 2010. Building signal conditioning for strain gauge sensors. The Islamic University of Gaza.