ششمین کنگره ملی مهندسی ماشین‌های کشاورزی و مکانیزاسیون
پردیس کشاورزی و منابع‌طبیعی دانشگاه تهران (کرج)
۲۴ و ۲۵ شهریور ۱۳۸۹

بررسی امکان استفاده از یک گشتاورسنج مجهز به کرنش سنج به منظور اندازه گیری غیر مستقیم جریان جرمی لحظه ای ذرت علوفه ای در ماشین خرد کن(چاپر)

محمد مهدی مهارلویی، محمد لغوی، سعادت کامگار[۱]

۱ – به ترتیب دانشجوی مقطع دکترا، استاد و استادیار بخش مکانیک ماشینهای کشاورزی دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز

چکیده

امروزه با توجه به پیشرفت‌های چشمگیر علم الکترونیک و رایانه و ارتباط روز افزون این علم با سایر علوم، عرصه-های نوین و گسترده‌ای برای تلاش و ایجاد تحول فرا روی بشر قرار گرفته است. از جمله این تحولات می‌توان به کشاورزی دقیق به عنوان نتیجه تلفیق علم الکترونیک و کشاورزی اشاره نمود.

کشاورزی دقیق به مجموعه‌ی فعالیت‌هایی که در یک چرخه تولید زراعی اعم از عملیات قبل از کاشت تا مرحله برداشت محصول انجام می‌گیرد اطلاق می‌گردد که در نهایت منجر به ارتقاء کیفیت و کمیت محصول و کاهش میزان کاربرد نهاده‌ها می‌گردد. اولین و پیشرفته‌ترین حلقه از فناوری‌های مرتبط با علم کشاورزی دقیق مربوط به آشکارسازی عملکرد محصول می‌باشد. در این فرایند با بهره‌گیری از حسگرهای نصب شده بر روی ماشین‌های برداشت، جریان جرمی مواد برداشت شده به صورت لحظه‌ای ثبت می‌گردد. تلفیق داده‌های مربوط به جریان جرمی لحظه‌ای مواد با داده-های حاصل از سیستم مکان‌یابی جهانی GPS این امکان را به کشاورز می‌دهد که تغییرات مکانی میزان محصول تولیدی را در مزرعه تشخیص و در صورت نیاز بهبود بخشد و بر این اساس به شناخت عوامل موثر بر عملکرد محصول بپردازد.

امروزه برای اندازه‌گیری جریان جرمی محصولات دانه‌ای مانند غلات که با کمباین برداشت می‌شوند روش‌های متنوعی توسط پژوهشگران مختلف پیشنهاد شده است که برخی از این روش‌ها از جنبه پژوهشی خارج شده و به صورت تجاری در اختیار تولیدکنندگان قرار گرفته است. اما تعیین عملکرد محصولات غیر دانه‌ای به دلیل مشکلاتی که در سنجش جریان جرمی مواد وجود دارد عموماً پیچیده بوده و روش‌های ارائه شده توسط پژوهشگران هنوز جنبه تحقیقاتی دارد. روش‌های ارائه شده عموماً بر اساس وزن‌کشی مخزن نگهداری محصول برداشت شده، اندازه‌گیری تغییرات لحظه‌ای گشتاور وارد بر واحد محرکه با استفاده از گشتاورسنج‌های الکترونیکی و استفاده از خصوصیات عملکردی ماشین‌های برداشت محصولات مختلف که به صورت غیرمستقیم تحت تاثیر تغییرات جریان جرمی مواد باشد، قرار دارد. ذرت علوفه‌ای یکی از مهمترین و راهبردی‌ترین محصولات غیردانه‌ای به شمار می‌رود. در سال‌های اخیر کشورهای در حال توسعه با درک اهمیت ذرت علوفه ای مبادرت به افزایش میزان تولید آن نموده‌اند. با توجه به این

مسائل، در این تحقیق امکان سنجی آشکارسازی عملکرد این محصول مد نظر قرار گرفت. در این راستا با توجه به اینکه این محصول توسط ماشین خردکن، برداشت می‌شود سعی در یافتن راهکاری برای تعیین غیر مستقیم جریان جرمی با توجه به خصوصیات این ماشین گردید. یکی از روش هایی که در پژوهش های پیشین مورد توجه بوده است، استفاده از روش اندازه گیری لحظه ای گشتاور وارد بر محور توان دهی می باشد. نتایج پژوهش ها نشان می دهد که تغییرات گشتاور با جریان جرمی لحظه ای مواد در حال خرد شدن در ماشین خرد کن همبستگی مناسبی دارد[۳، ۵، ۷، ۸، ۹]. امکان سنجی استفاده از این روش در این تحقیق مورد آزمون قرار گرفت.

معرفی

در علم ابزار اندازه گیری دقیق ، فرایند اندازه‌گیری بلادرنگ گشتاور محورهای در حال دوران کاری دشوار و پر-اهمیت است[۱].

برای ساخت گشتاورسنج راهکارهای متعددی ارائه شده است که شامل استفاده از روش‌های مکانیکی مثل دینامومترهای جذبی، حسگرهای گشتاور از نوع کرنش‌سنجی، روش اندازه‌گیری میزان پیچش به وسیله گیرنده و فرستنده نوری، حسگرهای خازنی، روش مغناطیس غیرتماسی و موج آکوستیک سطحی[۲] (SAW) می‌باشد [۲].

جهت طراحی و ساخت گشتاورسنج مورد بحث این تحقیق از میان روش‌های رایج در اندازه‌گیری گشتاور به صورت لحظه‌ای، روش استفاده از کرنش‌سنج به دلیل دقت بالا و ابعاد بسیار کوچک آن مورد توجه قرار گرفت. مشکل اصلی استفاده از این راهکار، تغذیه(تحریک) مدار پل ویتستون و دریافت سیگنال خروجی پل می باشد. بدین جهت استفاده از روش های غیر تماسی مبتنی بر القای الکترو مغناطیسی از محبوبیت بیشتری برخوردار است. اما استفاده از این نوع روش‌ها نیز به دلیل فضای زیادی که اشغال می نماید در جاهایی که مشکل فضای در اختیار مطرح است، با اشکالاتی رو به رو است.

براون[۲] (۱۹۷۹) نوعی گشتاورسنج پیچشی القای متقابل برای اندازه‌گیری اختلاف زاویه را در اداره ثبت اختراعات ایالات متحده به ثبت رسانید. در این گشتاورسنج دو چرخ دندانه در دو انتهای محور قرار گرفته بود که در مقابل یک سیم پیچ، ایجاد القای متقابل می‌نمود. تعداد پالس‌های حاصل از این دو القا در یک بازه زمانی اندازه‌گیری می‌شد و بدین طریق گشتاور از طریق اختلاف فاز زاویه‌ای محاسبه می‌گردید و در نهایت خروجی برای نمایش به یک سامانه نمایشگر منتقل می‌شد [۳].

یکی از مهمترین شاخص های ارزیابی عملکرد تراکتورها و همچنین ماشین‌های کشاورزی ای که از طریق نیروی دورانی مورد نیاز خود را دریافت می نمایند، اندازه گیری دقیق و پیوسته (P-T-O) محور توان دهی تراکتور مقدار گشتاور تولیدی و مصرفی آنهاست. اندازه گیری گشتاور تولیدی تراکتور توسط دینامومتر های کارگاهی صورت می گیرد و عمدتاً جهت بررسی کارکرد صحیح و بهینه موتور تراکتور می باشد. از این نوع دینامومتر ها برای سنجش تغییرات

1-Surface Acoustic Wave
2-Brown 1979

گشتاور تولیدی قبل و بعد از تعمیر اساسی موتور تراکتور و جهت تنظیم نمودن آن استفاده می شود. از سوی دیگر اطلاع از تغییرات گشتاور وارده بر موتور تراکتور که در نتیجه تغییرات شرایط کاری ماشین های کشاورزی متصل به محور توان دهی تراکتور است اهمیت زیادی دارد. بدین رو لزوم ساخت گشتاورسنجی که قادر باشد بدون ایجاد نیاز به تغییرات هر چند اندک در ساختمان سیستم محور توان دهی استاندارد تراکتور و ماشین‌های کشاورزی بتواند بین محور توان دهی تراکتور و محور رابط ماشین های کشاورزی متصل به تراکتور، نصب گردد به شدت احساس می شد. از سویی دیگر اندازه گیری پیوسته گشتاور انتقالی بین تراکتور و ماشین می تواند شاخصه ای مناسب از تغییر پذیری در حین کار ماشین در سطح مزرعه باشد. مثلاً ثبت و بررسی تغییرات گشتاور یک ماشین خاکورز دوار در حال عملیات خاکورزی در مزرعه که نیروی دورانی مورد نیاز خود را از تراکتور حامل خود دریافت می نماید، می تواند شاخصه ای از تغییرات مقاومت خاک در جای جای مزرعه باشد. این مقوله امروزه در بحث کشاورزی دقیق که موضوع اصلی آن مطالعه تغییر پذیری های محلی اعم از تغییرات مقاومت خاک، میزان عملکرد محصول و... در سطح یک مزرعه است، اهمیت زیادی یافته است. بر همین اساس در این تحقیق سعی شد گشتاور سنجی طراحی و ساخته شود که بتواند به راحتی بین تراکتور حامل و ماشین برداشت ذرت علوفه ای (چاپر) نصب گردد و به کمک اندازه گیری پیوسته تغییرات گشتاور وارده بر تراکتور که در نتیجه تغییر در تراکم محصول در سطح مزرعه است، بتوان رابطه ای بین میزان تغییرات عملکرد محصول (تراکم محصول در واحد سطح) و تغییرات گشتاور پیدا نمود و با اندازه گیری گشتاور به صورت غیر مستقیم میزان عملکرد محصول را به طور پیوسته و دقیق ثبت نمود.

محمود و همکاران[1] (۱۹۷۲) اقدام به ساخت گشتاورسنجی جهت اندازه‌گیری گشتاور در محل اتصال ادوات به محور توان دهی نمودند. در ساخت این ابزار از کرنش‌سنج استفاده شده بود با این تفاوت که کرنش‌سنج‌ها به جای اندازه‌گیری پیچش، کشش را اندازه‌گیری می‌کردند. ابزار از یک پوسته و دو صفحه که محل اعمال گشتاور ورودی و خروجی بود، تشکیل شده بود. بین این دو صفحه به صورت دایره‌ای (مستدیر) چند سوراخ دایره‌ای مخروطی کج ایجاد شده بود. در هر سوراخ یک مهره فولادی قرار داده شده بود که با افزایش گشتاور مصرفی، این مهره‌ها از مسیر دیواره کج مخروطی بالا رفته و باعث افزایش فاصله بین دو صفحه می‌شدند. این افزایش فاصله سبب ایجاد کشش در پوسته غیر متحرک می‌گردید. کشش حاصله باعث تغییر خروجی کرنش سنج‌های نصب شده برروی پوسته می‌گردید. حسن استفاده از این تکنیک، انتقال داده‌ی پل کرنش‌سنج‌ها بدون استفاده از رینگ‌های لغزان به دلیل ثابت بودن پوسته بود [٦].

مارتل و سوویی[2] (۲۰۰۰) در پژوهشی که در دانشگاه لاوال کانادا انجام دادند اقدام به ارزیابی همزمان چهار حسگر جهت اندازه‌گیری جریان جرمی نمودند. حسگرهای استفاده شده عبارت بودند از: حسگر اندازه‌گیری فاصله خطی غلتک تغذیه، حسگر صفحه‌ای، حسگر صفحه خازنی و حسگری متشکل از یک فرستنده و گیرنده نوری که در نزدیکی دهانه خروجی نصب شده بود. نحوه عمل این حسگر بر اساس تغییر میزان نور دریافتی در اثر تغییر میزان جریان جرمی بود.

1-Mahmud et al.
2-Martell & Sovoie

در نهایت نتایج این تحقیقات نشان داد حسگرهای صفحه‌ای و حسگر اندازه‌گیری جابجایی خطی به ترتیب با ضرایب تبیین ۰/۹۵ و۰/۹٤ بهترین خروجی را نسبت به تغییرات جریان جرمی مواد نشان داده‌اند. حسگر صفحه خازنی در شرایط تصحیح شده از نظر درصد رطوبت عملکرد قابل قبولی داشته است، ولی خروجی حسگر فرستنده وگیرنده نوری همبستگی ضعیفی با تغییرات جریان جرمی مواد نشان داده است [۷].

سوویی و همکاران (۲۰۰۲) در تحقیق مشابه مارتل و سوویی (۲۰۰۰) اقدام به مقایسه گروهی انواعی از حسگرهای اندازه‌گیری جریان جرمی علوفه خرد شده نمودند. در این تحقیق پنج حسگر جهت اندازه‌گیری جریان جرمی به صورت همزمان ارزیابی گردید. حسگرهای استفاده شده عبارت بودند از: حسگر اندازه‌گیری فاصله خطی غلتک تغذیه، حسگر صفحه‌ای، حسگر صفحه خازنی، دو حسگر گشتاورسنج متصل به محور توان‌دهی و استوانه برش و تریلی مجهز به چهار عدد بارسنج در زیر محفظه بار. نتایج حاصل از این پژوهش حاکی از آن بود که حسگرهای صفحه‌ای و حسگر اندازه-گیری جابجایی خطی به ترتیب دارای بهترین همبستگی خطی با جریان جرمی مواد بودند ولی در مورد حسگرهای گشتاور باید عملیات تصحیح درصد رطوبت نیز انجام می‌شد؛ حسگر صفحه خازنی همبستگی کمی با جریان جرمی مواد نشان داد (R^2=۰/٦٦۲) [۹].

کومهالا و پروسک[1] (۲۰۰۳) در دانشگاه کشاورزی جمهوری چک در پژوهشی دو حسگر اندازه‌گیری گشتاور مجهز به دورسنج و صفحه‌ای را برروی یک موور مدرن دارای کاندیشنر نصب نمودند. آزمایش‌ها در وضعیت آزمایشگاهی انجام گرفت و تغذیه ماشین به صورت دستی صورت پذیرفت. خروجی حسگر صفحه‌ای که حاصل از یک پل کامل کرنش‌سنجی بود پس از تبدیل به فرکانس به یک رایانه قابل حمل منتقل گردید و خروجی گشتاورسنج نیز به همراه خروجی حسگر سرعت دورانی در رایانه ذخیره می‌گردید. نتایج حاصل از این پژوهش رابطه خطی با همبستگی مناسب بین دو حسگر را نشان داد و استفاده از هر دو حسگر توسط محققین به منظور انجام اعمال مربوط به آشکارسازی عملکرد توصیه شد [۵].

در ادامه تحقیق کومهالا و پروسک، میکلندا و همکاران[2](۲۰۰٦) در تحقیقی مشابه، از دو حسگر ساخته شده توسط این محققین جهت تهیه نقشه عملکرد محصول یونجه استفاده کردند. این محققین جهت تعیین تغییر پذیری عملکرد از تغییرات توان مصرفی ماشین برداشت در حین عملیات برداشت استفاده نمودند. نتیجه عملکرد حسگر موفقیت آمیز گزارش گردید[۸].

کامگار و همکاران (۲۰۰۸) از یک گشتاورسنج میله پیچشی که با روش نوری انحراف زاویه‌ای را اندازه‌گیری می-نمود جهت آشکارسازی عملکرد محصول استفاده کردند. دستگاه ساخته شده توسط آنان از دو دیسک شیاردار تشکیل شده بود. اختلاف فاز بین دو سر محور متصل به واحد محرک ماشین خردکن، دو ترانزیستور حساس به نور لیزر که به دیسک‌های شیاردار متصل بود را تحریک می‌نمود به طوری که ترانزیستور یک سمت وظیفه روشن نمودن و ترانزیستور

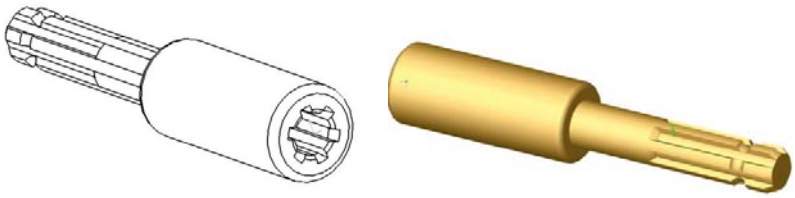
3-Kumhala & Prosek
1-Miklenda et al

سمت دیگر وظیفه خاموش نمودن تایمر داخلی میکروکنترلر را بر عهده داشت. زاویه پیچش در این ابزار به کمک اختلاف زمانی حاصل از دریافت نور منبع لیزر توسط ترانزیستور دیسک‌های شیاردار دو سمت محور اندازه‌گیری می-شد[٤].

مواد و روش ها

ساخت قسمت های مکانیکی گشتاورسنج

با توجه به اینکه مبنای کار گشتاور سنج ساخته شده براساس پیچش بود لذا لازم بود محور اصلی که قرار است گشتاور را اندازه گیری نماید از فولادی مغز نرم تهیه شود تا از پیچش مناسب و قابل قبول در محدوده مورد نظر برای استفاده در ماشینهای کشاورزی برخوردار باشد. همچنین همان طور که توضیح داده شد این محور باید به گونه ای طراحی می شد که نیازی به انجام تغییرات زیادی در ساختار تراکتور و وسیله نداشته باشد. بدین منظور محوری مانند شکل۱ طراحی و ساخته شد. این محور از یک نر و مادگی یکسان ساخته شد که از قسمت مادگی روی محور توان دهی تراکتور سوار می شد و از سمت دیگر ماشین های کشاورزی به آن متصل می شدند. ابعاد این قطعه رابط که بین محور توان دهی تراکتور و گاردان رابط ماشین نصب می گردید، براساس استاندارد محور توان دهی ASAE2002 انتخاب و ساخته شد.



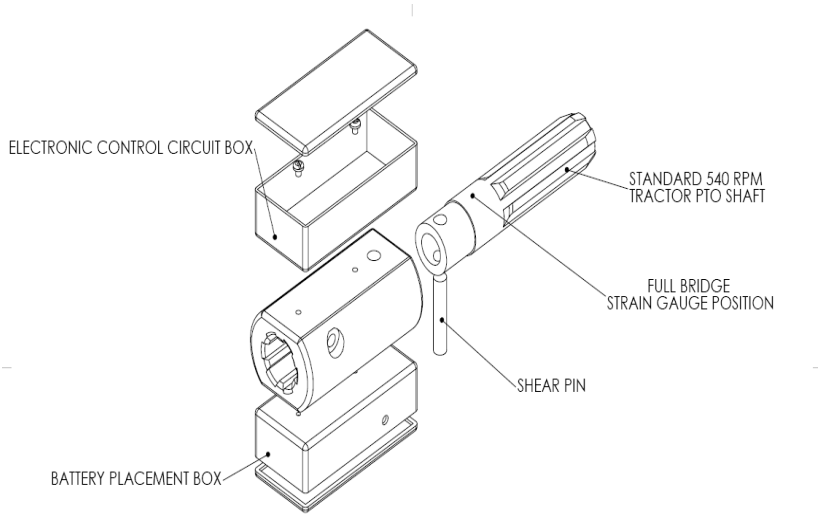
شکل(۱) محور رابط طراحی شده برای نصب گشتاور سنج

در انجام عملیات ساخت این قطعه، ابتدا قسمتی که شبیه محور توان دهی تراکتور می باشد تا قطر استاندارد تراشکاری گردید، سپس توسط دستگاه فرز ٦ عدد شیار برروی آن ماشینکاری گردید. قسمت مادگی دستگاه نیز به همین ترتیب تراشکاری و ماشینکاری گردید. اتصال این دو قسمت توسط یک پین با قطر مناسب که در اثر گشتاور زیاد وارده دچار برش نگردد، انجام گرفت. دلیل استفاده از پین به جای عملیات جوشکاری، جلوگیری از تغییرات محلی در جنس فولاد در اثر حرارت حاصل از جوش و همچنین جلوگیری از تابیدگی احتمالی بود.

نصب محل نگهداری مدار الکترونیکی و منبع تغذیه

با توجه به اینکه مدار الکترونیکی و منبع تغذیه در حین کار به همراه محور در حال دوران باشد لذا باید مدار و منبع تغذیه در داخل قوطی هایی پلاستیکی قرار گیرد تا از گرد و خاک و ضربات احتمالی مصون باشد. برای ایجاد تعادل، مدار الکترونیکی در یک سمت محور و باتری های تغذیه در سمت دیگر محور قرار گرفتند. برای آماده سازی

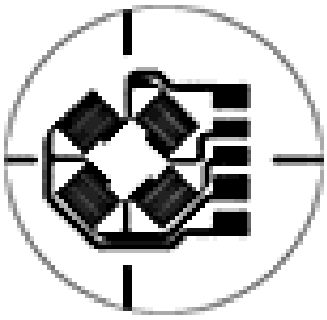
محور جهت نصب ابتدا قسمت مادگی به وسیله صفحه تراش جهت قرار گیری قوطی مسطح گردید و جهت اتصال قوطی سوراخکاری و قلاویز زنی شد و در نهایت قوطی ها در دو سمت محور مطابق شکل نصب گردید.



شکل(۲) نقشه انفجاری کلیه قسمتهای گشتاور سنج

مشخصات کرنش سنج و طریقه نصب بروی محور

کرنش سنج مورد استفاده در این گشتاور سنج به صورت پل کامل[1] که هر بازو تحت زاویه ٤٥ درجه نسبت به دو راستای طولی و حلقوی قرار داشت. انتخاب این نوع کرنش سنج با گلبرگ[2] های ٤٥ درجه، به دلیل ضرورت واکنش کرنش سنج تنها در شرایط تنش برشی صورت پذیرفت؛ در غیر این صورت پل نسبت به تنش های خمشی و کششی نیز واکنش نشان می داد.



شکل(۳) نمای طرحواره کرنش سنج مورد استفاده در گشتاور سنج

[1] -Full Bridge
[2] -Rosette

شکل(٤) کرنش سنج واقعی نصب شده روی محور گشتاور سنج

مشخصات کلی کرنش سنج مورد استفاده در جدول ۱ ذکر گردیده است:

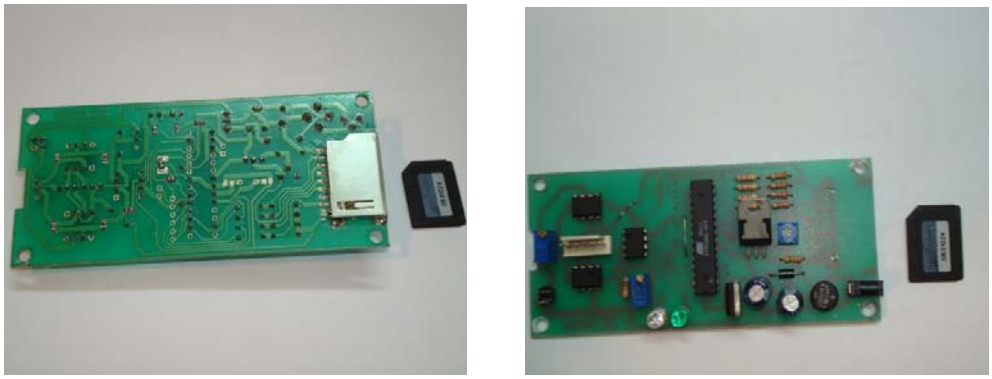
جدول(۱) مشخصات کلی کرنش سنج استفاده شده

ضریب پل[1]	۲/۰٦
طول موثر	۲ میلیمتر
مقاومت	۳۵۰ Ω
ولتاژ تحریک اولیه	۵ ولت

طراحی و ساخت مدار الکترونیکی دستگاه گشتاور سنج

به منظور تغذیه اولیه پل کرنش سنج و همچنین اخذ، تقویت و ذخیره مقادیر خروجی مدار پل وتستون، برد الکترونیکی مانند آنچه در شکل های(٤و٥) ملاحظه می گردد، طراحی و ساخته شد. جهت طراحی اولیه مدار و شبیه سازی خروجی ابتدا مدار در نرم افزار شبیه سازی رایانه ای(Lab View) در محیط مجازی ساخته شد خروجی مدار مورد بررسی و اصلاح قرار گرفت سپس محل قرار گیری و نحوه چینش قطعات مدار با توجه به شرایط کاری مدار و سرعت دوران محور بررسی و در نرم افزار Protel 99SE ترسیم گردید و در نهایت برد الکترونیکی PCB چاپ و قطعات برروی آن مونتاژ گردید.

[1] -Gauge Factor



شکل(٤) برد الکترونیکی ساخته شده به همراه قطعات مونتاژ شده و کارت حافظه

نحوه عملکرد مدار الکترونیکی

این مدار از یک میکرو کنترلر خانواده AVR از مدل ATMEGA 8L به عنوان واحد پردازش کننده داده های خروجی از پل وتستون تشکیل شده است. این واحد، داده های خروجی تقویت شده را از طریق درگاه آنالوگ به دیجیتال[1](پایه ADC0) خود دریافت و به صورت یک عدد ۸ بیتی(عددی بین ۰-۲۵٦) به قسمت کارت حافظه جانبی(MMC[2]) ارسال می نماید.

شکل(٦) گشتاورسنج تکمیل شده

1 -ADC(Analog-Digital Converter)
2 - Multi Media Card

آزمون و ارزیابی دستگاه

واسنجی خروجی مدار الکترونیکی نسبت به سطوح مختلف گشتاورهای اعمالی

پس از تکمیل مراحل ساخت، دستگاه جهت واسنجی خروجی مدار الکترونیکی و اطمینان از عملکرد صحیح مدار و سایر اجزاء در کارگاه واسنجی گردید. برای واسنجی خروجی مدار گشتاور سنج نسبت به گشتاور اعمالی، بازویی با طول مشخص به گشتاور سنج متصل گردید و یک قلاّب جهت قرار دادن وزنه ها در انتهای آن نصب گردید.

شکل(۷) واسنجی خروجی مدار گشتاورسنج نسبت به گشتاور وارده بر محور با روش بار گذاری بازوی گشتاوری

واسنجی دستگاه نسبت به دبی‌های جرمی مشخص

به منظور تهیه نقشه عملکرد محصول در شرایط مزرعه ابتدا لازم بود تا دستگاه در شرایط کنترل شده خوراک دهی شود تا تغییرات گشتاور وارد بر محور توان دهی در جریان های جرمی مختلفی از محصول بررسی گردد. بدین منظور با تعیین سرعت حرکت تراکتور در مزرعه و نمونه‌گیری از مزرعه، دبی‌های جرمی ٦، ٨ و ١٠ کیلوگرم بر ثانیه انتخاب گردید. به منظور انجام این آزمایش‌ها فواصلی به طول ۲۰ متر از مزرعه انتخاب گردید و آزمایش‌ها در پنج تکرار صورت پذیرفت که نتایج حاصل از این آزمایش یافتن روابطی بین دبی جرمی لحظه‌ای مواد ورودی به چاپر و خروجی مدار دستگاه بود.

نتایج و بحث

نتایج واسنجی خروجی مدار و آزمون های ابزار دقیق

با توجه به اینکه ساخت گشتاورسنج ابزار اندازه‌گیری دقیق محسوب می‌شود، لذا باید آزمون‌های تکرار پذیری[1] و توزیع نرمال داده‌ها برای ترسیم بهترین خط برازش و خط واری[2] انجام می گرفت تا خروجی مدار الکترونیکی (عدد ۸ بیتی دیجیتالی) را راست آزمایی نمود. در مورد آزمون تکرارپذیری با توجه به اطلاعات محاسبه شده در جدول (۲) انحراف معیار در اکثر تیمارها صفر یا در نهایت مقدار بسیار ناچیزی می باشد

1 - Repeatability
2 - Linearity

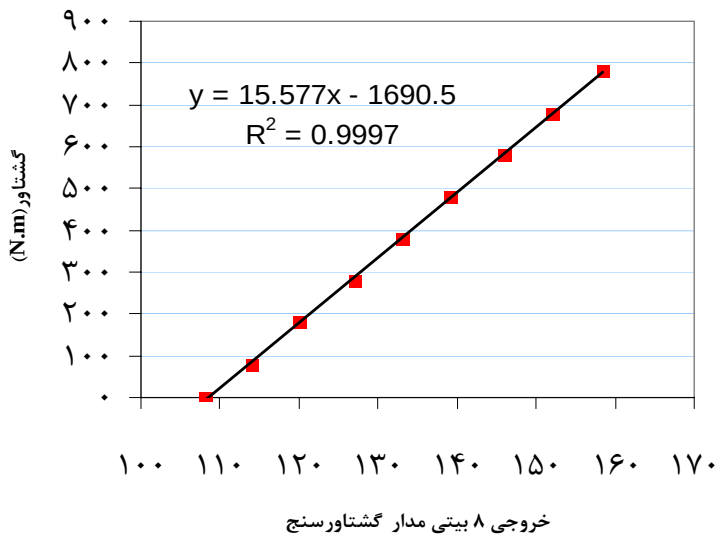
(مقدار پایین ضریب تغییرات[1]) لذا در تکرارهای مختلف، پراکندگی در داده‌های تیمارها وجود ندارد که این خود نشان دهنده تکرار پذیری دستگاه می‌باشد.

جدول۱- جدول میانگین، انحراف معیار و خطای استاندارد داده های مدار گشتاور سنج.

تیمار(N.m)	تعداد داده	میانگین خروجی مدار(عدد ۸ بیتی)	انحراف معیار	ضریب تغییرات(٪)
۰	۱۰۰	۱۰۸	۰	۰
۱۰۰	۱۰۰	۱۱٤	۰	۰
۲۰۰	۱۰۰	۱۲۰/۰۱	۰/۱	۰/۰۸۳
۳۰۰	۱۰۰	۱۲٦/۹۹	۰/۱	۰/۰۷۸
٤۰۰	۱۰۰	۱۳۳	۰	۰
٥۰۰	۱۰۰	۱۳۹/۰۸	۰/۲۷	۰/۱۹٤
٦۰۰	۱۰۰	۱٤٦	۰	۰
۷۰۰	۱۰۰	۱٥۲	۰	۰
۸۰۰	۱۰۰	۱٥۸/٤۸	۰/٥	۰/۳۱٥

با توجه به اینکه طبق آزمون آماری، توزیع داده‌ها در سطح ۹۵٪ نرمال بود، همچنین با توجه به ضریب همبستگی بالا بین داده‌های خروجی مدار و گشتاور (r=۰/۹۹۹۸) بهترین منحنی برازش واسنجی دستگاه ترسیم گردید(شکل(۸).

3- C.V. (Coefficient of Variation)



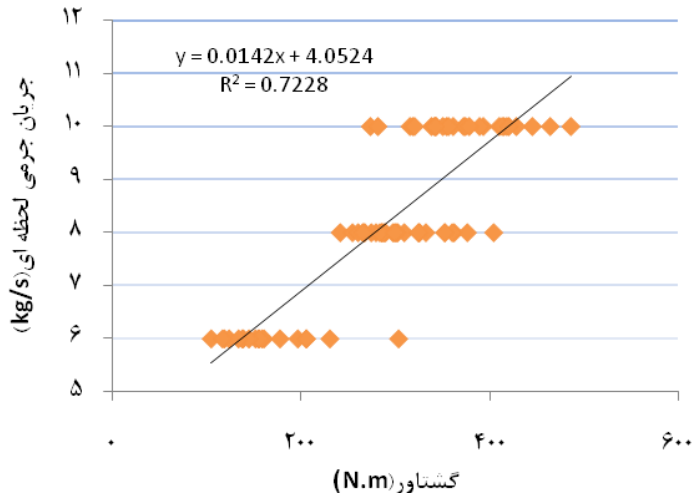
شکل(۸) منحنی واسنجی خروجی مدار گشتاور سنج نسبت به عامل گشتاور

نتایج واسنجی دستگاه نسبت به دبی های جرمی مشخص

در شکل (۹) نتایج میانگین گشتاور های بدست آمده براساس تغییرات جریان جرمی لحظه ای نشان داده است. تفاوت معنی دار بین میانگین گشتاور ها در تیمار های مختلف در سطح ۹۵٪ نشاندهنده عملکرد مناسب گشتاور سنج در تشخیص تغییرات جریان جرمی لحظه ای می باشد.

*- حروف کوچک غیر مشابه، نشان دهنده تفاوت معنی دار بین میانگین گشتاور در تیمار های مختلف جریان جرمی لحظه ای می باشد.

شکل(۹) نتایج مربوط به میانگین گشتاور در تیمار های مختلف جریان جرمی لحظه ای



شکل(۱۰) منحنی واسنجی تغییرات گشتاور نسبت به جریان های جرمی مشخص

همان‌طور که در شکل(۱۰) دیده می‌شود با توجه به ماهیت کاری ماشین چاپر پراکندگی داده ها در هر جریان جرمی بسیار شدید است به گونه ای که در برخی شرایط میانگین‌های یک گروه با گروه دیگر دارای هم‌پوشانی هستند. بدین جهت لازم است تا جهت اعتبارسنجی داده ها در هر تیمار، داده های پرت[1] حذف گردد. بنابراین با تعیین حدود اطمینان برای داده‌ها، در هر تیمار داده‌های خارج از محدوده اطمینان حذف گردید. این محدوده عبارتست از:

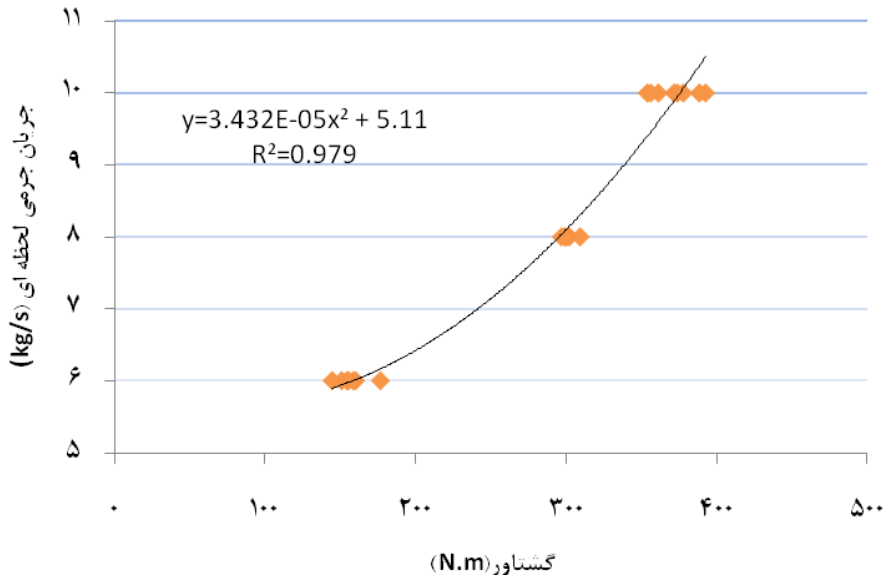
(مقدار T × خطای معیار میانگین)± میانگین داده ها در هرتیمار= محدوده اطمینان

که بر این اساس منحنی برازش داده‌ها پس از حذف داده‌های پرت به صورت شکل (۱۱) در خواهد آمد.

جدول(۳) تعیین حدود اطمینان برای میانگین گشتاور ها در تیمار های مختلف.

تیمار	میانگین	تعداد	انحراف معیار	خطای معیار میانگین	T'مقدار	محدوده اطمینان
٦ kg/s	١٦٣/٥٣	١٩	٤٧/٧٨	١٠/٩٦	٢/١٠	١٦٣/٥٣ ± ٢٣/٠٢
٨ kg/s	٣٠٤/٧٠	٣٠	٣٩/٢٦	٧/١٧	٢/٠٤	٣٠٤/٧٠ ± ١٤/٦٢
١٠ kg/s	٣٧٢/٨٢	٢٨	٥١/٩٨	٩/٨٢	٢/٠٥	٣٧٢/٨٢ ± ٢٠/٥١

1- Outliers



شکل(۱۱) منحنی واسنجی تغییرات گشتاور نسبت به جریان‌های جرمی مشخص پس از اعمال حدود اطمینان در هر تیمار

ارزیابی نهایی مزرعه ای دستگاه

به منظور ارزیابی نهایی دستگاه در شرایط عادی مزرعه، یک پلات آزمایشی شامل ٦ ردیف محصول ذرت علوفه ای به طول ۲۳ متر برداشت و عملکرد سامانه به کمک یک تریلر مجهز به سامانه الکترونیکی وزن کشی ارزیابی گردید. نتایج مقایسه جریان جرمی پیش بینی شده توسط معادله برازش حاصل از گشتاور و جریان جرمی واقعی حاصل از سیستم توزین تریلر در سطح ۹۵٪ معنی دار نشد.

شکل(۱۲) آزمون نهایی مزرعه ای به کمک تریلی مجهز به سامانه توزین الکترونیکی

بحث و نتیجه گیری

با توجه به نتایج بدست آمده عملکرد دستگاه در شرایط آزمایشگاهی و مزرعه ای رضایت بخش توصیف گردید و استفاده از این روش به منظور اندازه گیری غیر مستقیم و بلادرنگ جریان جرمی لحظه ای محصول ذرت علوفه ای قابل توصیه می باشد.

منابع

۱- رئوفت، م. ح. (۱۳۸٦). روش ها و ابزار اندازه گیری در علوم مهندسی، انتشارات نوید، شیراز. ۲٤۰صفحه.

۲- شاه میرزایی جشوقانی، ن. (۱۳۸۵). طراحی، ساخت و ارزیابی گشتاورسنج با حسگر لیزری به منظور پایش عملکرد ذرت علوفه ای، پایان نامه کارشناسی ارشد مکانیک ماشینهای کشاورزی، دانشگاه شیراز.

3- Brown, W. K. 1979. Torque meter means. United States patent, No: 4136559.

4- Kamgar, S., N. Shahmirzaie and A. A. Jafari. 2008. Design, development and evaluation of a laser-based torque meter for silage corn yield monitoring. International conference on Agricultural Engineering. Hersonissos, Greece.

5- Kumhala, P. and V. Prosek. 2003. Laboratory measurement of mowing machine material feed rate. Precision Agriculture, 4: 413-419.

6- Mahmud, A. R., W. F. Buchele and J. F. Andrew. 1972. A strain gauge brushless torque meter. Journal of Agricultural Engineering Research, 17: 231-235.

7- Martel, H. and P. Savoie. 2000. Sensors to measure mass-flow-rate through a forage harvester. Canadian Agricultural Engineering, Vol 42(3): 123-129.

8- Miklenda, P., F. Kumhala and V. Prosek. 2006. Feed rate measurement technique and yield map creating in fodder plant harvesting. Agr. Eng. Res. Vol 52(4): 123-128.

9- Savoie, P., P. Lemire and R. Thériault. 2002. Evaluation of five sensors to estimate mass–flow rate and moisture of grass in a forage harvester. Applied Engineering in Agriculture. 18(4): 389–397.